

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·数控技术应用专业

数控机床仿真实训

（第 2 版）

徐 伟 主 编
苏 丹

龙雄辉 副主编

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

《数控机床仿真实训（第2版）》是一本数控加工仿真实训教程，对上海宇龙软件工程有限公司的“数控加工仿真系统”进行了全面介绍。在讲述过程中注重从初学者的认识规律出发，强调实用性、可操作性。全书不仅对“数控加工仿真系统”的基本概念和基本操作方法的讲述浅显易懂，深入浅出，而且安排了大量短小精悍、典型实用的例题，使学习者能够结合实例进行学习，掌握数控机床的操作方法和技巧。书中对目前市场上的主流数控系统（FANUC系统、SIEMENS系统、华中数控系统）车床、铣床的仿真操作全过程进行了详细介绍，具有通俗性、新颖性和实用性等特点。本书可作为大学、高等职业学校、高等专科学校的相关课程教材，也可供工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床仿真实训 / 徐伟，苏丹主编. —2版. —北京：电子工业出版社，2009.7

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·数控技术应用专业

ISBN 978-7-121-08936-7

I. 数… II. ①徐… ②苏… III. 数控机床—计算机仿真—高等学校：技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第089125号

策 划：陈晓明

责任编辑：陈晓明 文字编辑：毕军志

印 刷：

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：17.5 字数：448千字

印 次：2009年7月第 次印刷

印 数：4000册 定价：26.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

数控加工仿真系统可以在计算机屏幕上仿真完成数控加工程序的输入/输出、数控机床操作、工件加工、虚拟测量等数控加工全过程,而且在数控加工仿真系统中,机床操作面板和操作步骤与相应的实际数控机床完全相同,学生在这种虚拟工作环境中可以学习掌握数控机床的加工操作方法,通过数控加工仿真系统既可以使培训达到实物操作训练的目的又可大大减少昂贵的设备投入。基于以上情况,目前许多大、中专院校均采用数控加工仿真系统和真实数控机床相结合的方式数控相关专业的实训教学。

上海宇龙软件工程有限公司的“数控加工仿真系统”是目前国内市场占有率最高的数控加工仿真系统,国内已有 100 余所院校使用。由于其具有的优秀的性能、友好的操作界面等特点,其发展势头迅猛,但缺乏合适的教材,配套教材几乎没有。针对这种情况,我们结合多年来从事“数控加工仿真系统”的教学和实际使用情况,编写了《数控机床仿真实训(第 2 版)》,它保留了第 1 版的原有体系,着重对书中各章节的实际操作部分进行了全新的规划和描述,比较全面地介绍了上海宇龙软件工程有限公司的“数控加工仿真系统”的主要功能和应用技术,从“方便学”和“方便教”两个角度进行编写,书中对目前市场上的主流数控系统(FANUC 系统、SIEMENS 系统、华中数控系统)车床、铣床的仿真操作全过程进行了详细介绍。由于编者对该软件系统的使用具有较深的认识,因此本教程的结构比较合理,其中包括不仅要知道怎么做,而且要知道为什么这么做,以及如何从被动学转入主动学。

本书共 8 章。第 1 章介绍数控仿真实训教学的思路、数控仿真网络教学实训系统的组成和特点;第 2 章介绍数控编程、加工基础知识;第 3 章介绍上海宇龙软件工程有限公司的“数控加工仿真系统”的安装、基本功能、特点和基本操作方法;第 4 章介绍 FANUC 系统数控机床加工的仿真操作过程、方法和技巧;第 5 章介绍 SIEMENS 系统数控机床加工的仿真操作过程、方法和技巧;第 6 章介绍华中数控系统数控机床加工的仿真操作过程、方法和技巧;第 7 章通过大量的实例介绍不同数控系统的数控车床的仿真编程、加工过程;第 8 章通过大量的实例介绍不同数控系统的数控铣床、加工中心的仿真编程、加工过程。

本教程内容新颖、加工程序示例丰富,各部分内容既相互联系又相互独立,例如,同一零件的数控加工程序,分别采用 FANUC 系统、SIEMENS 系统和华中数控系统来介绍其仿真加工过程,便于读者对不同数控系统的功能、特点进行比较学习。同时,依据教学特点对全书进行了精心编排,以方便用户根据自己需要进行选择。本教材不仅适合教学,也非常适合“数控加工仿真系统”用户的学习和参考,通过阅读本书,结合上机操作练习,能在较短的时间内基本掌握“数控加工仿真系统”应用技术。为了方便上课教学演示,本书配有电子课件,需要者可到电子工业出版社教育资源网下载,网址:<http://edu.phei.com.cn>。

本书由广东技术师范学院徐伟教授(第 1 章、第 6 章)、广州铁路职业技术学院苏丹(第 7 章、第 8 章)任主编,由广州铁路职业技术学院龙雄辉(第 3 章、第 4 章)任副主编,参加本书编写的还有广州铁路职业技术学院刘灏霖(第 2 章)、邹伟全(第 5 章、附录 A、B、C)。其他很多同志对本书的编写提供了许多帮助,在此一并感谢。限于作者水平,不当之处在所难免,恳请读者多提宝贵意见。

编 者
2009 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 数控仿真实训教学的思路	(1)
1.1.1 数控加工仿真技术简介	(1)
1.1.2 数控仿真软件的教学应用	(2)
1.2 数控仿真网络教学实训系统的组成	(6)
1.3 数控仿真网络教学实训系统的特点	(7)
习题 1	(8)
第 2 章 数控编程、加工基础知识	(9)
2.1 数控机床的坐标系	(9)
2.1.1 坐标系及工作台运动方向	(9)
2.1.2 绝对坐标和相对坐标	(11)
2.2 数控编程与工艺参数	(11)
2.2.1 编程的一般步骤	(12)
2.2.2 切削用量的选择原则	(12)
2.3 数控加工工艺过程	(16)
2.3.1 数控机床加工工艺分析	(16)
2.3.2 数控加工工艺路线设计	(18)
2.4 刀具材料	(20)
2.4.1 数控机床对刀具的要求	(20)
2.4.2 数控机床对刀具材料的要求	(20)
2.4.3 刀具材料的种类	(21)
2.5 数控车床刀具	(22)
2.5.1 数控车床刀具类型	(22)
2.5.2 可转位刀片型号与 ISO 表示规则	(22)
2.5.3 可转位刀片型号的选用	(25)
2.6 数控铣床刀具	(28)
2.6.1 数控铣刀与工具系统	(28)
2.6.2 数控铣床刀具的选择	(30)
2.7 数控工艺分析实例	(31)
2.7.1 车削加工轴类零件	(31)
2.7.2 铣削平面凸轮零件	(32)
2.7.3 铣削三维曲面零件	(33)
2.8 数控车床基本指令	(34)

2.8.1	数控车床编程基础	(34)
2.8.2	F、S、T 指令功能、G 指令应用	(35)
2.8.3	刀尖圆弧半径补偿	(49)
2.9	数控铣床基本指令	(50)
2.9.1	数控铣床编程基础	(51)
2.9.2	数控铣床基本指令	(51)
	习题 2	(63)
第 3 章	数控机床仿真软件	(65)
3.1	软件简介	(65)
3.2	软件安装	(65)
3.3	基本功能	(68)
3.3.1	项目文件	(68)
3.3.2	视图设置	(69)
3.3.3	系统管理	(70)
3.4	工件和机床	(72)
3.4.1	机床选择	(72)
3.4.2	工件的使用	(73)
3.4.3	刀具选择	(76)
3.4.4	车床基准确定 (对刀)	(78)
3.4.5	铣床基准确定 (对刀)	(84)
3.4.6	NC 程序错误及其处理	(89)
3.5	软件的教学功能	(91)
3.5.1	授课功能	(91)
3.5.2	操作回放功能	(92)
3.5.3	考试功能	(92)
	习题 3	(103)
第 4 章	FANUC 0i 系统	(104)
4.1	机床基本操作	(104)
4.1.1	自动和手动加工方式	(104)
4.1.2	MDI 模式	(106)
4.1.3	轨迹模式	(106)
4.1.4	回零模式	(106)
4.2	数控程序处理	(107)
4.2.1	导入数控程序	(107)
4.2.2	数控程序管理	(108)
4.2.3	编辑程序	(108)
4.2.4	保存程序	(109)
4.3	参数设置	(109)
4.3.1	G54~G59 参数设置	(109)

4.3.2	车床刀具补偿参数	(110)
4.3.3	铣床及加工中心刀具补偿参数	(111)
4.4	车床仿真	(111)
4.4.1	零件车削实例	(112)
4.4.2	仿真加工步骤	(113)
4.5	铣床仿真	(118)
4.5.1	零件铣削实例	(118)
4.5.2	仿真加工步骤	(120)
习题 4	.....	(125)
第 5 章	SIEMENS 810D 数控系统仿真	(127)
5.1	机床操作	(127)
5.1.1	回零模式操作	(127)
5.1.2	自动模式/手动模式	(128)
5.1.3	MDI 模式	(130)
5.1.4	轨迹模式	(130)
5.2	数控程序处理	(130)
5.2.1	数控程序导入	(130)
5.2.2	数控程序管理	(131)
5.2.3	数控程序编辑	(132)
5.2.4	保存程序	(133)
5.3	参数设置	(133)
5.3.1	G54~G57 参数设置	(133)
5.3.2	刀具参数设置	(134)
5.3.3	R 参数设置	(136)
5.3.4	输入设置参数	(137)
5.4	车床仿真	(139)
5.4.1	零件车削实例	(139)
5.4.2	仿真加工步骤	(140)
5.5	铣床仿真	(146)
5.5.1	零件铣削实例	(146)
5.5.2	仿真加工步骤	(147)
习题 5	.....	(153)
第 6 章	华中数控系统仿真	(155)
6.1	机床基本操作	(155)
6.1.1	自动/手动/单步/连续模式	(155)
6.1.2	MDI 模式	(157)
6.1.3	轨迹模式	(157)
6.1.4	回零模式	(157)
6.2	数控程序处理	(158)

6.2.1	导入数控程序	(158)
6.2.2	程序管理	(159)
6.2.3	程序编辑	(159)
6.3	参数设置	(160)
6.3.1	坐标系参数设置	(160)
6.3.2	车床刀具补偿参数设置及对刀	(160)
6.3.3	数控铣床及加工中心刀具补偿参数设置	(162)
6.4	车床仿真	(163)
6.4.1	车床仿真实例	(163)
6.4.2	仿真加工步骤	(164)
6.5	铣床仿真	(171)
6.5.1	零件铣削实例	(171)
6.5.2	仿真加工步骤	(172)
习题 6	.....	(178)
第 7 章	数控车床仿真编程、加工实例	(180)
7.1	数控车床综合加工实例	(180)
7.1.1	零件加工工艺分析	(180)
7.1.2	编程与仿真操作	(181)
7.2	利用子程序编程与仿真加工	(187)
7.2.1	相关知识	(187)
7.2.2	加工工艺分析	(188)
7.2.3	数学计算	(188)
7.2.4	编程与仿真操作	(188)
7.3	公、英制螺纹的编程与仿真加工	(194)
7.3.1	相关知识	(194)
7.3.2	加工工艺分析	(195)
7.3.3	数学计算	(196)
7.3.4	编程与仿真操作	(196)
7.4	复杂零件的编程及仿真加工	(202)
7.4.1	相关知识	(203)
7.4.2	加工工艺分析	(204)
7.4.3	数学计算	(204)
7.4.4	编程与仿真操作	(204)
习题 7	.....	(211)
第 8 章	数控铣床仿真编程、加工实例	(213)
8.1	子程序综合应用加工实例	(213)
8.1.1	零件加工工艺分析	(213)
8.1.2	编程与仿真操作	(213)
8.2	固定循环指令综合应用加工实例	(219)

8.2.1	相关知识	(219)
8.2.2	零件加工工艺分析	(220)
8.2.3	编程与仿真操作	(220)
8.3	刀具半径补偿功能的编程与仿真加工	(227)
8.3.1	相关知识	(227)
8.3.2	加工工艺分析	(227)
8.3.3	编程与仿真操作	(228)
8.4	二维复杂零件轮廓的编程与仿真加工	(232)
8.4.1	相关知识	(233)
8.4.2	加工工艺分析	(233)
8.4.3	数学计算	(234)
8.4.4	编程与仿真操作	(234)
8.5	三维复杂零件轮廓的编程与仿真加工	(240)
8.5.1	相关知识	(240)
8.5.2	加工工艺分析	(240)
8.5.3	编程与仿真操作	(241)
习题 8	.....	(250)
附录 A	FANUC 0i 数控指令格式	(253)
附录 B	SIEMENS 810D 数控指令格式	(258)
附录 C	华中数控指令格式	(261)
参考文献	.....	(267)

第1章 绪 论

1.1 数控仿真实训教学的思路

机床数控技术是 20 世纪 70 年代发展起来的一种机床自动控制技术。20 多年来随着计算机、传感与检测、自动控制及机械制造等技术的不断进步,机床数控技术得到了迅速的发展。数控机床作为典型的机电一体化产品,是高新技术的重要组成部分,采用数控机床提高机械工业的数控化率,已成为当前机械制造技术更新的必由之路。近年来,随着企业数控机床应用率的大幅度提高,数控机床的操作技能培养成为各类职业院校一个急待解决的问题。而数控机床是高技术产品,价格较昂贵,许多院校受场地和资金的限制,无法购置大量的数控机床来供学生实训。另一方面,学生直接在数控机床上进行操作练习,容易因为培训中的误操作而导致设备的损坏,造成严重的经济损失。因此,如何根据各院校的具体情况,在满足数控专业教学和实训需要的同时,做到“少花钱,办大事”,是各类职业院校迫切需要解决的问题。

数控加工仿真系统可以模拟实际设备加工环境及其工作状态,不仅可以应用于制造企业中,对数控加工程序进行快速、精确的仿真,验证数控程序的可靠性,防止干涉和碰撞等情况的发生,而且还可以用做数控技术操作技能的教学培训,既可以使受训人员达到实物操作训练的目的,又可以大幅减少昂贵设备的投入,具有很高的应用价值。

因此,学校可通过数控加工仿真系统的大量运用,使虚拟设备与真实数控设备有机结合,建设高标准、高技术含量的数控网络教学实训系统,使学校可以按循序渐进、由浅入深的认知规律,对学生进行数控手工编程→零件产品造型和计算机自动编程→数控加工仿真系统操作→生产型数控机床操作训练→数控工艺员培训或数控操作工职业技能等级考证培训,更好地培养适应社会需求的数控专业人才。

数控仿真系统的运用,将是职业院校进行实验室建设,改革实验教学的一个新的发展方向。

1.1.1 数控加工仿真技术简介

在数控加工过程中,为检查数控程序的正确性,传统上采用试切的方法,但这种方法费工费料,代价昂贵,延长了产品生产周期。后来又采用轨迹显示法,即用计算机控制铅笔绘图器,以笔代替刀具,以纸代替毛坯来仿真刀具运动轨迹的二维图形。这种方法可以显示二轴加工轨迹,也可以检查一些大的错误,但其运动仅限于平面,局限性很大。为此,人们一直在研究能逐步代替试切的仿真方法,并在试切环境的模型化、仿真计算和图形显示等方面取得了重要的进展。在这种情况下,数控加工的计算机仿真技术应运而生。

仿真技术是复杂系统研究和设计的一种新型和有效的工具。所谓数控加工仿真,是指采用计算机图形学的手段对加工走刀和零件切削过程进行模拟,具有快速、仿真度高、成本

低等优点。它采用可视化技术,通过仿真和建模软件,模拟实际的加工过程,在计算机屏幕上将铣、车、钻、镗等加工方法的加工路线描绘出来,并能提供错误信息的反馈,使工程技术人员能预先看到制造过程,及时发现生产过程中的不足,有效预测数控加工过程和切削过程的可靠性及高效性,此外,还可以对一些意外情况进行控制。数控加工仿真代替了试切等传统的走刀轨迹的检验方法,大大提高了数控机床的有效工时和使用寿命,因此在制造业得到了越来越广泛的应用。

数控加工仿真系统可由两个模块组成:

(1) 仿真环境。由机床、工件、夹具、刀具库构成。

(2) 仿真过程。包括几何仿真和力学仿真两个部分。几何仿真将刀具与零件视为刚体,不考虑切削参数、切削力等其他物理因素的影响,只仿真刀具、工件几何体的运动来验证 NC 程序的正确性;切削过程的力学仿真属于物理仿真范畴,需要考虑精度分析等影响加工质量的因素,它通过仿真切削过程的动态力学特性来预测刀具破损、刀具振动、控制切削参数,从而优化切削过程。

对于数控加工仿真系统的实现,目前较流行的有四种方案:

(1) 基于 VC++ 和 OpenGL 技术开发。

(2) 基于 VC++ 与现有造型软件结合的开发。

(3) 基于 VRML 技术的开发。

(4) 基于现有 CAD/CAM 软件的二次开发。其中第一种方案 and 第二种方案都需要开发人员编写大量代码;第三种方案的优点是可以开发出基于网络的仿真系统,缺点是对于机床的加工仿真尚需大量的编程工作,而且缺乏相应的技术基础;第四种方案是利用基于特征的通用机械 CAD/CAM 软件系统,提供功能强大的二次开发模块。例如,UG、Pro/Engineer、CATIA 等著名的大型 CAD/CAM 软件就提供了 MS VC++ 的开发方法和接口, SolidWorks 提供了基于 COM 和 OLE 技术的二次开发接口。采用以上软件系统作为仿真系统的图形显示平台,开发者无须考虑环境光源、材质等影响真实感的因素,大大降低了编程的难度和强度;工件毛坯直接由设计过程调用,具有完全的真实形状,仿真结果直观易懂;仿真图形易于控制,具有旋转、放大、剖切和加工过程记录等特点,在航天航空、汽车制造、模具加工、通用机械等领域得到广泛的应用。

1.1.2 数控仿真软件的教学应用

数控仿真系统可以模拟实际设备加工环境及其工作状态,数控加工仿真技术为验证数控程序的可靠性、防止干涉和碰撞的发生及预测加工过程提供了强有力的工具。

针对目前 PC 的普及,以及在数控机床实验机上教学的诸多不便,结合数控加工技术教学实践,将基于 PC 平台的数控加工仿真教学系统,用于数控操作人才的培训和教学。在培训和教学过程中,数控机床的模拟操作通过计算机屏幕上的仿真操作面板进行,而零件切削过程可在机床仿真模型上用三维动画演示,仿真加工和操作几乎与实际机床的真实情况一样。

目前,应用较为广泛的数控仿真系统主要有上海宇龙的“数控加工仿真系统”和德国“MTS 数控编程仿真系统”。这类软件可以用来学习数控机床的编程与操作,具有“以软代硬”来熟悉编程与操作、减少废品和撞机等优点,是一种现代化教学和实训的好方法。随着

- (2) 程序编辑模块。用于数控程序的输入、修改及显示编辑。NC 程序的读取如同生产实际一样，采用面板手工输入和程序文件读入两种方式。
- (3) 程序处理模块。通过对 NC 代码的理解、检查代码语法语意的正确性，经过译码、刀补计算、进给速度处理，得到刀具中心轨迹和其他所需数据，用于模拟加工。
- (4) 模拟加工模块。具有自动加工和手动加工等功能，系统通过对处理后 NC 程序的离散和插补，直接驱动数控系统显示屏或三维动画仿真。在模拟加工过程中，数控系统显示屏按实际加工状态，可工作在图形模拟或数字状态两种方式下。
- “数控加工仿真系统” 4.3 版本包括了目前国内常用数控系统的仿真，如表 1-1 所示。

表 1-1 国内常用数控系统及操作面板

控制系统	机床	操作面板
FANUC 0	数控铣	通用机床操作面板 汉川机床操作面板
	卧式加工中心	通用机床操作面板
	立式加工中心	通用机床操作面板 JOHNFORD 大河机床厂 V600 友嘉精机 FV—800
FANUC 0—TD	数控车	通用机床操作面板 宝鸡机床厂 SK50 云南机床厂
FANUC PowerMate 0	数控车	通用机床操作面板 济南第一机床面板 宝鸡机床厂 TK50
FANUC 0i	数控铣	通用机床操作面板 北京第一机床厂 南通机床厂
	卧式加工中心	通用机床操作面板
	立式加工中心	北京第一机床厂 XKA714 / B JOHNFORD VMC—850 南通机床厂 XH713A TONMAC LEADWELL 南京第二机床厂 XH714
	数控车	通用机床操作面板 沈阳机床操作面板
SIEMENS 810D	数控车	OP032 面板
	数控铣	OP032 面板
	卧式加工中心	OP032 面板
	立式加工中心	DECKEL MAHO 大河机床厂 V600—810D
SIEMENS 802D	数控铣	标准面板 南京机床厂
	卧式加工中心	标准面板
	立式加工中心	标准面板 浙江日发机床厂
	数控车	标准面板 沈阳第一机床厂

续表

控 制 系 统	机 床	操 作 面 板
SIEMENS 802SC	数控铣	标准面板
	卧式加工中心	
	立式加工中心	
	数控车	标准面板 广州机床厂 G—CNC6135(40)A
华中数控	数控铣	华中世纪星 华中世纪星 4 代
	卧式加工中心	
	立式加工中心	
	数控车	华中世纪星 HNC—21T 华中世纪星 4 代
广州数控	数控铣	GSK 928 GSK 990M GSK 983M
	卧式加工中心	
	立式加工中心	
	数控车	GSK 980T GSK 928 GSK 980TD
PA 8000	数控车	上海富安工厂自动化公司 FA32 机床面板
	数控铣	上海富安工厂自动化公司 FA32 机床面板
	卧式加工中心	上海富安工厂自动化公司 FA32 机床面板
DASEN 3I	数控铣	标准面板
	卧式加工中心	
	立式加工中心	
	数控车	
华兴 21DT	数控车	标准面板
凯恩帝	数控车	标准面板
	数控铣	

2. MTS数控仿真系统

从德国引进的 MTS 数控仿真系统有 Top Turn、Top Mill 和 Top Cam 三个模块，可以实现以下几个方面的主要功能：

- （1）交互式编程功能。
- （2）数控系统后置处理功能。
- （3）数据库储存工艺数据功能。
- （4）对刀功能。
- （5）建立工艺档案功能。
- （6）仿真模拟功能。
- （7）加工质量分析功能。

1.2 数控仿真网络教学实训系统的组成

数控仿真网络教学实训系统由数控原理与编程实训室、机械 CAD/CAM 实训室、数控加工仿真系统、数控加工实训室及局域网和多媒体系统等组成，如图 1.3 所示。

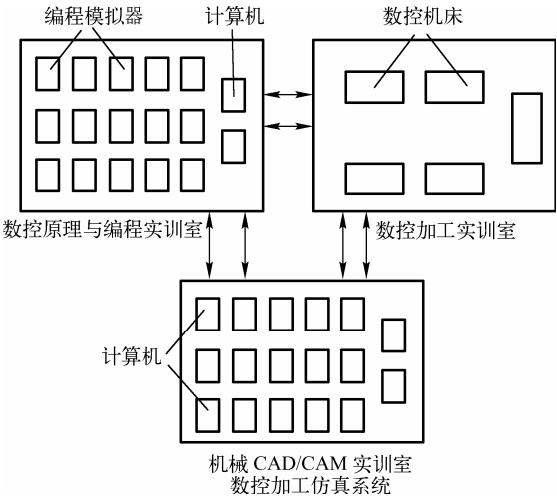


图 1.3 数控仿真网络教学实训系统的组成

1. 数控原理与编程实训

数控编程是指从零件图纸到获得加工程序的全过程。但无论采用什么系统进行数控程序的编制，都可能发生错误，编程人员往往事先很难预料，尤其对于多坐标数控铣手工编程产生的数控程序，由于其复杂性和不可靠性，在进行产品加工前，往往要进行多次试切检查和程序调整，模拟零件的加工过程，检验刀位计算是否正确，加工过程是否过切，所选刀具、走刀路线、进退刀方式是否合理，刀具和约束面是否干涉与碰撞，等等，从而大大降低了生产效率。而通过对已编制好的数控程序的仿真，可以有效地减少以上过程所占用的设备生产时间和所耗费的人力及物力，同时还可以应用于对新操作者的技术培训。

针对以上情况建立的数控原理与编程实训室，根据各校的具体情况，由若干台数控车、铣两用编程模拟器和一台教师用计算机及多媒体系统组成，主要用于数控原理和数控手工编程知识的教学和实验、实训等。教师可以利用多媒体系统进行多媒体教学，使数控原理与编程等的教学更具有直观性和实践性。在教学过程中，学生可以使用编程模拟器与教师所使用的计算机之间建立连接，教师机内装有网络化管理软件，可对网络进行编程通信和对 CAD/CAM 实训室、数控加工实训室等进行统一管理；数控车、铣两用编程模拟器主要训练学生数控手工编程能力，并可进行加工仿真以验证程序的正确性。

2. 机械CAD/CAM实训

CAD/CAM 技术一直是现代机械加工业中的一个重要内容，随着数控机床性能、零件复杂度的不断提高，数控编程的难度也日益加大，NC 程序的故障率也越来越高。如果 NC 代

码生成不正确,很可能发生零件被多切或少切,刀具和零件、刀具和夹具、刀具和工作台之间产生干涉和碰撞现象。如果采用数控加工过程三维动态仿真系统,可动态模拟数控切削的加工过程,有效地减少或消除因程序错误而导致的机床损坏、夹具或刀具折断、零件报废等问题,同时也可以减少产品的设计制造周期,降低生产成本。在信息化时代,数控仿真技术不仅是编程工具,而且将成为在网络平台上面向制造业的高效数控加工编程服务平台。

针对此环节建立的机械 CAD/CAM 实训室,由若干台计算机和投影教学仪等组成,由内部局域网联网管理,并配有相应的机械 CAD/CAM 软件和数控仿真加工系统软件,能够配合计算机绘图、机械 CAD/CAM 技术应用、数控机床等课程的理论教学,为学生提供机械 CAD/CAM 专业软件操作的学习及数控机床的模拟操作等方面的实训环境。数控加工仿真系统以虚拟现实技术来全程模拟数控加工中学生需要掌握的准备、装、夹、测量、检查、加工全过程,为学生提供从数控编程到数控车床、数控铣床等数控机床加工的训练。

3. 数控加工实训

针对数控加工实训建立的数控加工实训室,应由多台数控车床、数控铣床、加工中心等现代数控机床设备组成,并与数控原理与编程实训室、CAD/CAM 实训室实现局域网通信,学生可将手工编制或自动编制的程序传送给相应数控机床,进行实物加工操作,同时还能够让学生了解各类机床结构,使其操作、维护、保养机床等技能得到加强和巩固。

1.3 数控仿真网络教学实训系统的特点

数控仿真网络教学实训系统的特点主要体现在以下四个方面。

- (1) 网络化技术应用使实训基地的管理和通信更为方便。
- (2) 教室与实训室的整合统一,使理论教学与实践教学一体化。
- (3) 虚拟技术的应用节约了更多资金。
- (4) 建立了递进式教学实训模式。

1. 网络化技术应用

在构建实训系统时,应考虑增强实训系统的网络化管理功能,使教师与学生之间实现信息通信、实训室与实训室间实现信息通信、同一实训室内部各设备间实现信息通信。

网络化技术的应用,使教师在授课过程中,可以利用局域网进行网上直播,并可及时从学生那里获得反馈信息,使教与学更为轻松;利用网络还可以实现对学生编程与操作的考试等功能。

2. 教学与实训的整合统一

在数控原理与编程实训室和机械 CAD/CAM 实训室,配备相应的多媒体教学设备,所有的数控原理与编程的理论教学和学生上机编程训练均可在两个实训室内完成,将教室与实训室整合为一体。

教学过程中可采用边理论讲授边练习编程等操作方式,通过教师自己制作的课件进行多媒体授课,一方面使理论教学更直观生动,增强学生学习兴趣;另一方面也大大节省了授

课时，使得学生有足够的时间进行编程练习。教师的讲授和学生的练习同步进行，教师可随时调出并检查学生编制的程序，学生还可在编程模拟器上进行仿真加工以验证程序的正确性。在机械 CAD/CAM 实训室，学生在计算机上进行 CAD/CAM 课程的学习，进一步训练学生建立零件空间造型的概念，并利用数控加工工艺知识完成零件的工艺参数设置和自动编程。这种教室与实训室的整合是“理论与实践教学一体化体系”建设的一种形式，更适用于技术应用性人才的培养。

3. 虚拟技术的应用

“数控加工仿真系统”采用虚拟现实技术，利用计算机三维造型以及多媒体技术，通过对仿真机床的操作，使学生熟悉数控机床操作面板上各按键的功能，熟悉数控系统的基本功能和操作。学生可以在数控仿真系统中编写、验证数控代码，并且观察到数控代码的运行结果，学习数控编程的技术。

4. 递进式教学实训模式

整个教学实训系统的构建，遵循了认知规律，按照循序渐进、由浅入深的原则，使学生从了解认识数控机床的结构、数控编程的原理入手，首先学习并掌握数控手工编程的方法，然后学习并熟练运用机械 CAD/CAM 软件进行零件造型和自动编程，再到数控仿真系统中进行加工练习，最后到数控机床的熟练操作等，从而形成完整的教学体系。

习 题 1

- 1.1 简述仿真技术在数控加工领域的发展现状。
- 1.2 试述数控仿真教学软件的主要功能。
- 1.3 简述数控仿真网络教学实训系统的组成。
- 1.4 简述数控仿真网络教学实训系统的特点。
- 1.5 简述网络技术在数控仿真教学系统中的应用。
- 1.6 试述 CAD/CAM 的含义。
- 1.7 试写出常用 CAD/CAM 的软件。
- 1.8 试述仿真加工的作用。

第 2 章 数控编程、加工基础知识

内容提要

数控机床的坐标系。数控编程与工艺参数、数控加工工艺过程。刀具材料、数控车床刀具、数控铣床刀具。数控工艺分析实例。数控车床基本指令、数控铣床基本指令。

2.1 数控机床的坐标系

在编写数控加工程序过程中，为了确定刀具与工件的相对位置，必须通过机床参考点和坐标系描述刀具的运动轨迹。在国际 ISO 标准中，数控机床坐标轴和运动方向的设定均已标准化，我国前机械工业部 1982 年颁布的 JB3052—82 标准与国际 ISO 标准等效。

2.1.1 坐标系及工作台运动方向

1. 坐标系的确定原则

(1) 刀具相对于静止工件而运动的原则。这个原则规定不论数控机床是刀具运动还是工件运动，编程时均以刀具的运动轨迹来编写程序，这样可按零件图的加工轮廓直接确定数控机床的加工过程。

(2) 标准坐标系的规定。标准坐标系是一个直角坐标系，如图 2.1(a)所示，按右手直角坐标系规定，右手的拇指、食指和中指分别代表 X、Y、Z 轴的方向；如图 2.1(b)所示，旋转方向按右手螺旋法则规定，四指顺着轴的旋转方向，拇指与坐标轴同方向为轴的正旋转，反之为轴的反旋转，图中 A、B、C 分别代表围绕 X、Y、Z 轴的旋转方向。

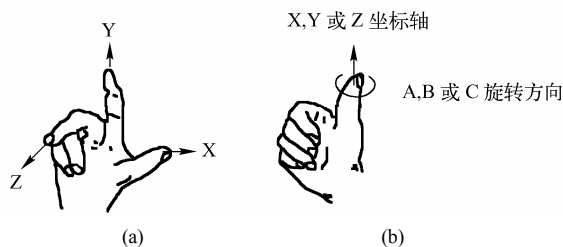


图 2.1 右手直角坐标系

(3) 坐标轴正负的规定。使刀具与工件之间距离增大的方向规定为轴的正方向，反之为轴的反方向。

2. 机床坐标轴的确定方法

Z 轴表示传递切削动力的主轴，X 轴平行于工件的装夹平面，一般取水平位置，根据右

手直角坐标系的规定，确定了 X 和 Z 轴的方向，Y 轴的方向随之确定。

(1) 车床坐标系。如图 2.2 所示，Z 轴与车床的主轴同轴线，刀具横向运动方向为 X 轴的方向，旋转方向 C 表示主轴的正转。

(2) 立式铣床坐标系。如图 2.3 所示，Z 轴与立式铣床的直立主轴同轴线，面对主轴，向右为 X 轴的正方向，根据右手直角坐标系的规定确定 Y 轴的方向朝前。

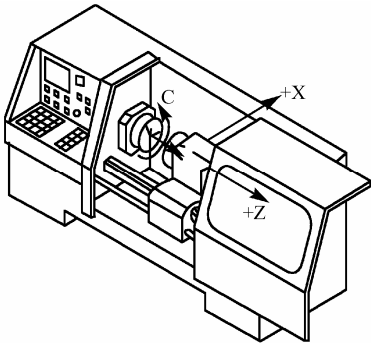


图 2.2 车床坐标系图

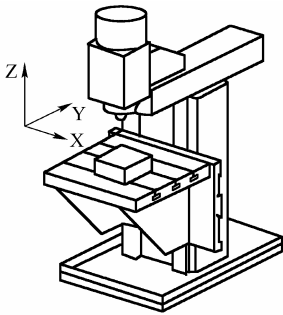


图 2.3 立式铣床坐标系

(3) 卧式铣床坐标系。如图 2.4 所示，Z 轴与卧式铣床的水平主轴同轴线，面对主轴，向左为 X 轴的正方向，根据右手直角坐标系的规定确定 Y 轴的方向朝上。

3. 坐标系的种类

数控机床坐标系有机床坐标系和工件坐标系，其中工件坐标系又称为编程坐标系。

(1) 机床坐标系。机床坐标系 XYZ 是生产厂家在机床上设定的坐标系，其原点是机床上的一个固定点，作为数控机床运动部件的运动参考点，在一般数控车床中，如图 2.5 所示，原点为卡盘端面与主轴轴线的交点；在一般数控立铣床中，原点为运动部件在 X、Y、Z 坐标轴反方向运动的极限位置的交点，即在此状态下的工作台左前角上。

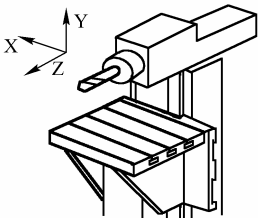


图 2.4 卧式铣床坐标系图

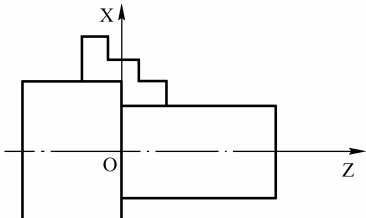


图 2.5 数控车床坐标系的原点

(2) 工件坐标系。设定工件坐标系 $X_pY_pZ_p$ 目的是为了编程方便。设置工件坐标系原点的原则尽可能选择在工件的设计基准和工艺基准上，工件坐标系的坐标轴方向与机床坐标系的坐标轴方向保持一致。在数控车床中，如图 2.6 所示，原点 O_p 点一般设定在工件的右端面与主轴轴线的交点上。在数控铣床中，如图 2.7 所示，Z 轴的原点一般设定在工件的上表面，对于非对称工件，X、Y 轴的原点一般设定在工件的左前角上；对于对称工件，X、Y 轴的原点一般设定在工件对称轴的交点上。

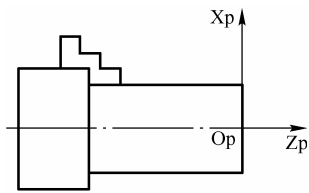


图 2.6 数控车床工件坐标系的原点图

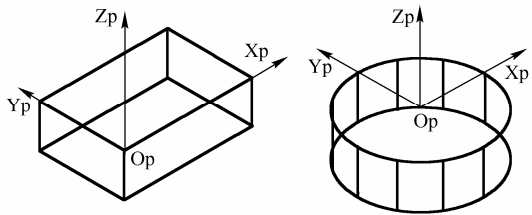


图 2.7 数控铣床工件坐标系的原点

2.1.2 绝对坐标和相对坐标

1. 绝对坐标表示法

将刀具运动位置的坐标值表示为相对于坐标原点的距离，这种坐标的表示法称之为绝对坐标表示法，如图 2.8 所示。大多数的数控系统都以 G90 指令表示使用绝对坐标编程。

2. 相对坐标表示法

将刀具运动位置的坐标值表示为相对于前一位置坐标的增量，即为目标点绝对坐标值与当前点绝对坐标值的差值，这种坐标的表示法称之为相对坐标表示法，如图 2.9 所示。

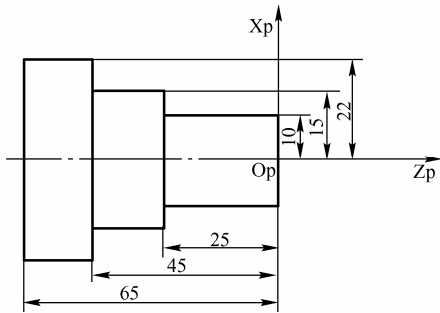


图 2.8 绝对坐标表示法图

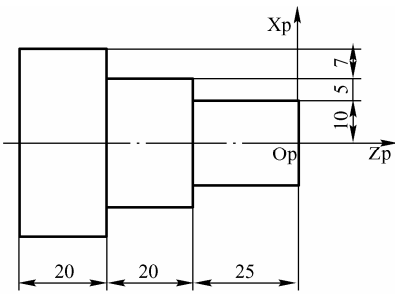


图 2.9 相对坐标表示法

大多数的数控系统都以 G91 指令表示使用相对坐标编程，有的数控系统用 X、Y、Z 表示绝对坐标代码，用 U、V、W 表示相对坐标代码。在一个加工程序中可以混合使用这两种坐标表示法编程。

2.2 数控编程与工艺参数

根据数控加工原理，按工件图纸的技术和加工要求，用数控机床规定的格式和标准的指令，把工件的工艺过程、工艺参数及其辅助操作，按动作顺序编成加工程序，然后输入数控系统，通过伺服系统控制刀具切削工件。由此可见，数控加工工艺在编写程序中是何等的重要。

2.2.1 编程的一般步骤

1. 确定工艺过程

数控机床与普通机床的加工工艺有许多相似之处，通过对工件进行工艺分析，拟定加工工艺路线，划分加工工序；选择机床、夹具和刀具；确定定位基准和切削用量。不同之处主要体现在控制方式上，前者操作者把加工工艺过程、工艺参数等操作步骤编成程序，记录在控制介质上，通过数控系统控制数控机床对工件进行切削加工，后者则由操作工人根据加工工艺操作机床对工件进行切削加工。

2. 计算刀具轨迹坐标值

为方便编程和计算刀具轨迹坐标值，先设定工件坐标系，随后根据零件的形状和尺寸计算零件待加工轮廓上各几何元素的起点、终点坐标以及圆和圆弧的起点、终点和圆心坐标，从而确定刀具的加工轨迹。

3. 编写加工程序

对于形状简单的工件采用手工编程，对于形状复杂的工件（如空间曲线和曲面）则需要采用 CAD/CAM 方法进行自动编程。

4. 程序输入数控系统

将程序输入到数控系统的方法有两种：一种是通过操作面板上的按钮直接把程序输入数控系统，另一种是通过计算机 RS232 接口与数控机床连接来传送程序。

5. 程序检验

通过图形模拟显示刀具轨迹或用机床空运行来检验机床运动轨迹，检查刀具运动轨迹是否符合加工要求。可用单步执行程序的方法试切削工件，即按一次按钮执行一个程序段，发现问题及时处理。

2.2.2 切削用量的选择原则

数控机床加工的切削用量包括切削速度 v_c （或主轴转速 n ）、切削深度 a_p 和进给量 f ，其选用原则与普通机床基本相似，合理选择切削用量的原则是：粗加工时，以提高劳动生产率为主，选用较大的切削量；半精加工和精加工时，选用较小的切削量，保证工件的加工质量。

1. 数控车床切削用量

（1）切削深度 a_p 。在工艺系统刚性和机床功率允许的条件下，尽可能选取较大的切削深度，以减少进给次数。当工件的精度要求较高时，则应考虑留有精加工余量，一般为 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。

切削深度 a_p 计算公式：
$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中， d_w ——待加工表面外圆直径，单位 mm；

d_m ——已加工表面外圆直径，单位 mm。

(2) 切削速度 v_c 。

① 车削光轴切削速度 v_c 。由工件材料、刀具的材料及加工性质等因素所确定，如表 2-1 所示为硬质合金外圆车刀切削速度参考表。

② 切削速度 v_c 计算公式：
$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中， d ——工件或刀尖的回转直径，单位 mm；

n ——工件或刀具的转速，单位 r/min。

表 2-1 硬质合金外圆车刀切削速度参考表

工 件 材 料	热处理状态	$a_p=0.3\sim2\text{mm}$	$a_p=2\sim6\text{mm}$	$a_p=6\sim10\text{mm}$
		$f=(0.08\sim0.3)\text{mm/r}$	$f=(0.3\sim0.6)\text{mm/r}$	$f=(0.6\sim1)\text{mm/r}$
		$V_c/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	$V_c/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	$V_c/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
低碳钢 易切钢	热轧	140~180	100~120	70~90
中碳钢	热轧	130~160	90~110	60~80
	调质	100~130	70~90	50~70
合金工具钢	热轧	100~130	70~90	50~70
	调质	80~110	50~70	40~60
工具钢	退火	90~120	60~80	50~70
灰铸铁	HBS<190	90~120	60~80	50~70
	HBS=190~225	80~110	50~70	40~60
高锰钢			10~20	
铜及铜合金		200~250	120~180	90~120
铝及铝合金		300~600	200~400	150~200
铸铝合金		100~180	80~150	60~100

注：表中刀具材料切削钢及灰铸铁时耐用度约为 60min。

② 车削螺纹主轴转速 n 。切削螺纹时，车床的主轴转速受加工工件的螺距（或导程）大小、驱动电动机升降特性及螺纹插补运算速度等多种因素影响，因此对于不同的数控系统，选择车削螺纹主轴转速 n 存在一定的差异。一般数控车床车螺纹时主轴转速计算公式如下：

$$n \leq \frac{1200}{P} - k$$

式中， p ——工件螺纹的螺距或导程，单位 mm。

k ——保险系数，一般为 80。

(3) 进给速度。进给速度是指单位时间内，刀具沿进给方向移动的距离，单位为 mm/min，也可表示为主轴旋转一周刀具的进给量，单位为 mm/r。

① 确定进给速度的原则：

- a. 当工件的加工质量能得到保证时，为提高生产率可选择较高的进给速度。
- b. 切断、车削深孔或精车时，选择较低的进给速度。
- c. 刀具空行程尽量选用高的进给速度。

d. 进给速度应与主轴转速和切削深度相适应。

② 进给速度 v_f 的计算：

$$v_f = n \cdot f$$

式中， n ——车床主轴的转速，单位 r/min。

f ——刀具的进给量，单位 mm/r。

如表 2-2 所示为硬质合金车刀车粗车外圆和端面进给量参考表，如表 2-3 所示为按表面粗糙度选择进给量参考表。

表 2-2 硬质合金车刀粗车外圆及端面进给量参考表

工 件 材 料	刀杆尺寸 $B \times H$ (mm ²)	工件直径 d (mm)	切削深度 a_p (mm)				
			≤3	3~5	5~8	8~12	>12
			进给量 f (mm/r)				
碳素结构钢 合金结构钢 耐热钢	16×25	20	0.3~0.4	—	—	—	—
		40	0.4~0.5	0.3~0.4	—	—	—
		60	0.5~0.7	0.4~0.6	0.3~0.5	—	—
		100	0.6~0.9	0.5~0.7	0.5~0.6	0.4~0.5	—
		400	0.8~1.2	0.7~1.0	0.6~0.8	0.5~0.6	—
	20×30 25×25	20	0.3~0.4	—	—	—	—
		40	0.4~0.5	0.3~0.4	—	—	—
		60	0.5~0.7	0.5~0.7	0.4~0.6	—	—
		100	0.8~1.0	0.7~0.9	0.5~0.7	0.4~0.7	—
		400	1.2~1.4	1.0~1.2	0.8~1.0	0.6~0.9	0.4~0.6
铸铁 铜合金	16×25	40	0.4~0.5	—	—	—	—
		60	0.5~0.8	0.5~0.8	0.4~0.6	—	—
		100	0.8~1.2	0.7~1.0	0.6~0.8	0.5~0.7	—
		400	1.0~1.4	1.0~1.2	0.8~1.0	0.6~0.8	—
	20×30 25×25	40	0.4~0.5	—	—	—	—
		60	0.5~0.9	0.5~0.8	0.4~0.7	—	—
		100	0.9~1.3	0.8~1.2	0.7~1.0	0.5~0.8	—
		400	1.2~1.8	1.2~1.6	1.0~1.3	0.9~1.1	0.7~0.9

注：断续加工和加工有冲击的工件，表内进给量应乘系数 $k = 0.75 \sim 0.85$ ；
加工无外皮工件，表内进给量应乘系数 $k = 1.1$ ；
加工耐热钢及其合金，进给量不大于 1 mm/r；
加工淬硬钢，应减少进给量。当钢的硬度为 44~56 HRC，应乘系数 $k = 0.8$ ；当钢的硬度为 57~62 HRC 时，应乘系数 $k = 0.5$ 。

表 2-3 按表面粗糙度选择进给量参考表

工 件 材 料	表面粗糙度 R_a (μm)	切削速度范围 v_c (m/min)	刀尖圆弧半径 r (mm)		
			0.5	1.0	2.0
			进给量 f (mm/r)		
铸铁 青铜 铝合金	5~10	不限	0.25~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60
	2.5~5		0.15~0.25	0.25~0.40	0.40~0.60
	1.25~2.5		0.10~0.15	0.15~0.20	0.20~0.35

工 件 材 料	表面粗糙度 R_a (μm)	切削速度范围 v_c (m/min)	刀尖圆弧半径 r (mm)		
			0.5	1.0	2.0
			进给量 f (mm/r)		
碳 钢 合 金 钢	5~10	<50	0.30~0.50	0.45~0.60	0.55~0.70
		>50	0.40~0.55	0.55~0.65	0.65~0.70
	2.5~5	<50	0.18~0.25	0.25~0.30	0.30~0.40
		>50	0.25~0.30	0.30~0.35	0.30~0.50
	1.25~2.5	<50	0.10	0.11~0.15	0.15~0.22
		50~100	0.11~0.16	0.16~0.25	0.25~0.35
		>100	0.16~0.20	0.20~0.25	0.25~0.35

注： $r_e=0.5$ mm，一般选择刀杆截面为 12 mm×12 mm；
 $r_e=1$ mm，一般选择刀杆截面为 30 mm×30 mm；
 $r_e=2$ mm，一般选择刀杆截面为 30 mm×45 mm。

2. 数控铣床切削用量选择

数控铣床的切削用量包括切削速度 v_c 、进给速度 v_f 、背吃刀量 a_p 和侧吃刀量 a_c 。切削用量的选择方法是考虑刀具的耐用度，先选取背吃刀量或侧吃刀量，其次确定进给速度，最后确定切削速度。

(1) 背吃刀量 a_p （端铣）或侧吃刀量 a_c （圆周铣）。如图 2.10 所示，背吃刀量 a_p 为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm，端铣时 a_p 为切削层深度，圆周铣削时 a_p 为被加工表面的宽度。侧吃刀量 a_c 为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm，端铣时 a_c 为被加工表面宽度，圆周铣削时 a_c 为切削层深度。端铣背吃刀量和圆周铣侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量要求决定。

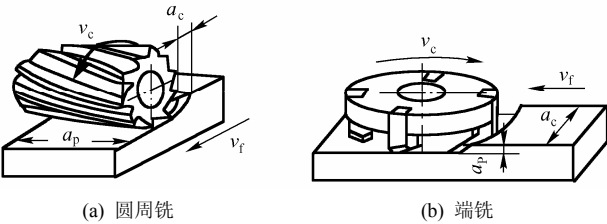


图 2.10 铣刀铣削用量

① 工件表面粗糙度要求为 $R_a3.2\sim12.5\ \mu\text{m}$ ，分粗铣和半精铣两步铣削加工，粗铣后留半精铣余量 0.5~1.0 mm。

② 工件表面粗糙度要求为 $R_a0.8\sim3.2\ \mu\text{m}$ ，可分粗铣、半精铣、精铣三步铣削加工。半精铣时端铣背吃刀量或圆周铣削侧吃刀量取 1.5~2 mm，精铣时圆周铣侧吃刀量取 0.3~0.5 mm，端铣背吃刀量取 0.5~1 mm。

(2) 进给速度 v_f 。进给速度指单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移，单位为 mm/min。它与铣刀转速 n 、铣刀齿数 z 及每齿进给量 f_z （单位为 mm/z）有关。

进给速度的计算公式： $v_f=f_zzn$

其中，每齿进给量 f_z 的选用主要取决于工件材料和刀具材料的机械性能、工件表面粗糙度等因素。当工件材料的强度和硬度高，工件表面粗糙度的要求高，工件刚性差或刀具强度低， f_z 值取小值。硬质合金铣刀的每齿进给量高于同类高速钢铣刀的选用值，每齿进给量的选用参考表如表 2-4 所示。

表 2-4 铣刀每齿进给量 f_z 参考表

工 件 材 料	每齿进给量 f_z (mm/z)			
	粗铣		精铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

(3) 切削速度。铣削的切削速度与刀具耐用度 T 、每齿进给量 f_z 、背吃刀量 a_p 、侧吃刀量 a_e 以及铣刀齿数 z 成反比，与铣刀直径 d 成正比。其原因是 f_z 、 a_p 、 a_e 、 z 增大时，使同时工作齿数增多，刀刃负荷和切削热增加，加快刀具磨损，因此刀具耐用度限制了切削速度的提高。如果加大铣刀直径则可以改善散热条件，相应提高切削速度。表 2-5 所示列出了铣削切削速度的参考值。

表 2-5 铣削时的切削速度参考表

工 件 材 料	硬度 (HBS)	切削速度 v_c (m/min)	
		高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	<225	18~42	66~150
	225~325	12~36	54~120
	325~425	6~21	36~75
铸铁	<190	21~36	66~150
	190~260	9~18	45~90
	160~320	4.5~10	21~30

2.3 数控加工工艺过程

2.3.1 数控机床加工工艺分析

数控机床加工工艺涉及面广，而且影响因素多，对工件进行加工工艺分析时，更应考虑数控机床的加工特点。

1. 分析零件图中的尺寸标注方法

以同一基准引注尺寸或直接标注坐标尺寸的方法为统一基准标注方法，如图 2.11 所示，这种标注方法最符合数控机床的加工特点，既方便编程，又保持了设计基准、工艺基准、测量基准与工件原点设置的一致性。而设计人员在标注尺寸时较多考虑装配与使用特性方面的因素，常采用局部分散的标注方法，如图 2.12 所示，这种标注方式给工序安排与数控编程带

来许多不便，宜将局部分散的标注方法改为统一基准标注方法，由于数控加工精度及重复定位精度很高，统一基准标注方法不会产生较大的累积误差。

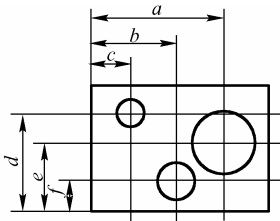


图 2.11 统一基准标注方法图

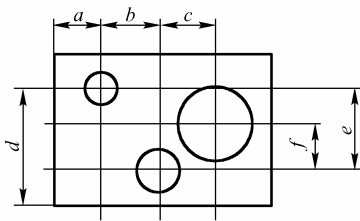


图 2.12 分散基准标注方法图

2. 分析构成零件轮廓的几何元素条件

构成零件轮廓的几何元素条件是数控编程的重要依据。手工编程时要计算构成零件轮廓的每一个节点坐标，自动编程时要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义，如果某一条件不充分，则无法计算零件轮廓的节点坐标和表达零件轮廓的几何元素，导致无法进行编程，因此图纸应当完整地表达构成零件轮廓的几何元素。

3. 分析工件结构的工艺性

(1) 工件的内腔与外形应尽量采用统一的几何类型和尺寸。例如，同一轴上直径差不多的轴肩退刀槽的宽度应尽量统一尺寸，这样可以减少刀具的规格和换刀的次数，方便编程和提高数控机床加工效率。

(2) 工件内槽及缘板间的过渡圆角半径不应过小。过渡圆角半径反映了刀具直径的大小，刀具直径和被加工工件轮廓的深度之比与刀具的刚度有关，如图 2.13(a)所示，当 $R < 0.2H$ 时 (H 为被加工工件轮廓面的深度)，则判定该工件该部位的加工工艺性较差；如图 2.13(b)所示，当 $R > 0.2H$ 时，则刀具的当量刚度较好，工件的加工质量能得到保证。

(3) 工件槽底圆角半径不宜过大。如图 2.14 所示，铣削工件底平面时，槽底的圆角半径 r 越大，铣刀端刃铣削平面的能力就越差，铣刀与铣削平面接触的最大直径 $d = D - 2r$ (D 为铣刀直径)，当 D 一定时， r 越大，铣刀端刃铣削平面的面积越小，加工表面的能力相应减小。

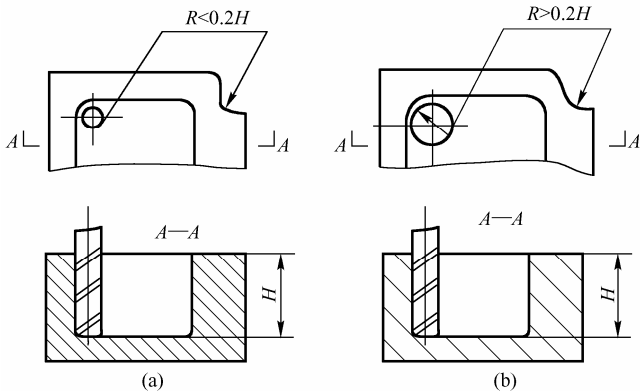


图 2.13 内槽过渡半径

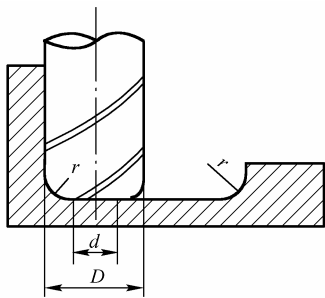


图 2.14 槽底的圆角半径

(4) 分析零件定位基准的可靠性。数控加工应尽量采用统一的基准定位, 否则会因工件的安装定位误差而导致工件加工的位置误差和形状误差。如果在数控机床上需要对工件调头加工, 最好选用已加工的外圆或已加工的内孔作为定位基准。如果没有则应设置辅助基准, 必要时在毛坯上增加工艺凸台或制作工艺孔, 加工结束后再处理所设的辅助基准。

2.3.2 数控加工工艺路线设计

数控加工的工艺路线设计必须全面考虑, 注意工序的正确划分、顺序的合理安排和数控加工工序与普通工序的衔接。

1. 工序的划分

数控机床与普通机床加工相比较, 加工工序更加集中, 根据数控机床的加工特点, 加工工序的划分有以下几种方式。

(1) 根据装夹定位划分工序。这种方法一般适应于加工内容不多的工件, 主要是将加工部位分为几个部分, 每道工序加工其中一部分。例如, 加工外形时, 以内腔夹紧; 加工内腔时, 以外形夹紧。

(2) 按所用刀具划分工序。为了减少换刀次数和空行程时间, 可以采用刀具集中的原则划分工序, 在一次装夹中用一把刀完成可以加工的全部加工部位, 然后再换第二把刀, 加工其他部位。在专用数控机床或加工中心上大多采用这种方法。

(3) 以粗、精加工划分工序。对易产生加工变形的零件, 考虑到工件的加工精度, 变形等因素, 可按粗、精加工分开的原则来划分工序, 即先粗后精。

在工序的划分中, 要根据工件的结构要求、工件的装夹方式、工件的加工工艺性、数控机床的性能以及工厂生产组织与管理等因素灵活掌握, 力求合理。

2. 加工顺序的安排

加工顺序的安排应根据工件的结构和毛坯状况, 选择工件定位和安装方式, 重点保证工件的刚度不被破坏, 尽量减少变形, 因此加工顺序的安排应遵循以下原则。

- (1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧。
- (2) 先加工工件的内腔, 后加工工件的外轮廓。
- (3) 尽量减少重复定位与换刀次数。
- (4) 在一次安装加工多道工序中, 先安排对工件刚性破坏较小的工序。

3. 数控加工工序与普通工序的衔接

由于数控加工工序穿插在工件加工的整个工艺过程之中, 各道工序需要相互建立状态要求, 如加工余量的预留, 定位面与孔的精度和形位公差要求, 矫形工序的技术要求, 毛坯的热处理等要求, 各道工序必须前后兼顾, 综合考虑。

4. 数控机床加工工序和加工路线的设计

数控机床加工工序设计的主要任务: 确定工序的具体加工内容、切削用量、工艺装备、定位安装方式及刀具运动轨迹, 为编制程序做好准备。其中加工路线的设定是很重要的环节,

加工路线是刀具在切削加工过程中刀位点相对于工件的运动轨迹，它不仅包括加工工序的内容，也反映加工顺序的安排，因而加工路线是编写加工程序的重要依据。

(1) 确定加工路线的原则。

- ① 加工路线应保证被加工工件的精度和表面粗糙度。
- ② 设计加工路线要减少空行程时间，提高加工效率。
- ③ 简化数值计算和减少程序段，降低编程工作量。
- ④ 根据工件的形状、刚度、加工余量、机床系统的刚度等情况，确定循环加工次数。
- ⑤ 合理设计刀具的切入与切出方向。采用单向趋近定位方法，避免传动系统反向间隙而产生的定位误差。

⑥ 合理选用铣削加工中的顺铣或逆铣方式，一般来说，数控机床采用滚珠丝杠，运动间隙很小，因此顺铣优点多于逆铣。

(2) 数控机床加工路线。

① 数控车床加工路线。数控车床车削端面加工路线如图 2.15 所示， $A \rightarrow B \rightarrow O_p \rightarrow D$ ，其中 A 为换刀点，B 为切入点， $C-O_p$ 为刀具切削轨迹， O_p 为切出点，D 为退刀点。

数控车床车削外圆的加工路线如图 2.16 所示， $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ ，其中 A 为换刀点，B 为切入点， $C \rightarrow D \rightarrow E$ 为刀具切削轨迹，E 为切出点，F 为退刀点。

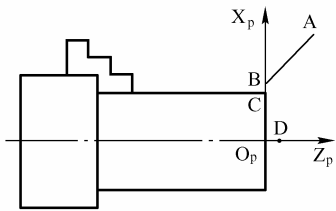


图 2.15 数控车床车削端面加工路线图

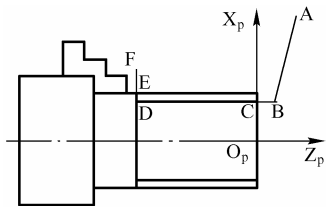


图 2.16 数控车床车削外圆加工路线图

② 数控铣床加工路线。立铣刀侧刃铣削平面零件外轮廓时避免沿零件外轮廓的法向切入和切出，如图 2.17 所示，应沿着外轮廓曲线的切向延长线切入或切出，这样可避免刀具在切入或切出时产生刀刃切痕，保证零件曲面的平滑过渡。当铣削封闭内轮廓表面时，刀具也要沿轮廓线的切线方向进刀与退刀，如图 2.18 所示， $A \rightarrow B \rightarrow C$ 为刀具切向切入轮廓轨迹路线， $C \rightarrow D \rightarrow C$ 为刀具切削工件封闭内轮廓轨迹， $C \rightarrow E \rightarrow A$ 为刀具切向切出轮廓轨迹路线。

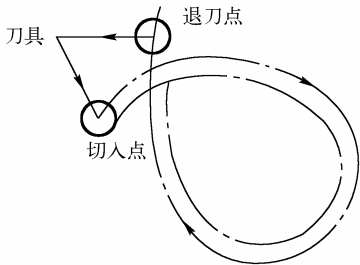


图 2.17 外轮廓铣削的加工路线图

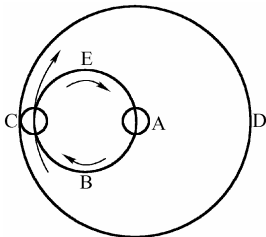


图 2.18 内轮廓铣削的加工路线图

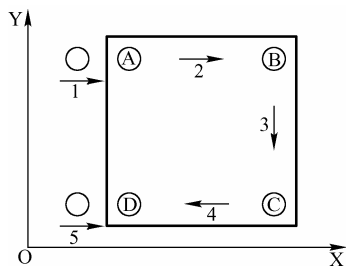


图 2.19 孔加工定位路线图

③ 孔加工定位路线。合理安排孔加工定位路线能提高孔的位置精度，如图 2.19 所示，在 XY 平面内加工 A、B、C、D 四孔，安排孔加工路线时一定要注意各孔定位方向的一致性，即采用单向趋近定位方法，完成 C 孔加工后往左多移动一段距离，然后返回加工 D 孔，这样的定位方法避免因传动系统反向间隙而产生的定位误差，提高了 D 孔与其他孔之间的位置精度。

5. 工件的装夹与夹具的选择

(1) 工件的装夹。

- ① 力求符合设计基准、工艺基准、安装基准和工件坐标系的基准统一原则。
- ② 减少装夹次数，尽可能做到在一次装夹后能加工全部待加工表面。
- ③ 尽可能采用专用夹具，减少占机装夹与调整的时间。

(2) 夹具的选择。根据数控机床的加工特点，协调夹具坐标系、机床坐标系与工件坐标系三者的关系，此外还要考虑以下几点。

- ① 小批量加工零件，尽量采用组合夹具，可调式夹具以及其他通用夹具。
- ② 成批生产考虑采用专用夹具，力求装卸方便。
- ③ 夹具的定位及夹紧机构元件不能影响刀具的走刀运动。
- ④ 装卸零件要方便可靠，成批生产可采用气动夹具、液压夹具和多工位夹具。

2.4 刀具材料

数控机床加工工件时，刀具直接担负着对工件的切削加工。刀具材料的耐用度和使用寿命直接影响着工件的加工精度、表面质量和加工成本。合理选用刀具材料不仅可以提高刀具切削加工的精度和效率，而且也是对难加工材料进行切削加工的关键措施。

2.4.1 数控机床对刀具的要求

为保证数控机床的加工精度，提高数控机床的生产率及降低刀具材料的消耗，在选用数控机床刀具时，除满足普通机床应具备的基本条件外，还要考虑在数控机床中刀具工作条件等多方面因素。

- (1) 刀具的尺寸和定位精度高，满足数控机床的加工精度。
- (2) 刀具具有良好的断屑功能，使得切削加工过程平稳。
- (3) 刀具能够适应数控机床的快速换刀，减少换刀辅助时间。
- (4) 数控刀具设计制造要求标准化、模块化。

此外还要求刀具系统具有刀具工作状态检测报警装置，以便能及时更换磨损的刀具，避免产生产品质量事故。

2.4.2 数控机床对刀具材料的要求

在金属切削过程中，切削层金属在刀具的作用下承受剪切滑移而塑性变形，刀具与工件、

切屑之间挤压与摩擦使刀具切削部分产生很高的温度，在断续切削加工中还会受到机械冲击及热冲击的影响，加剧刀具的磨损，甚至使刀具破损，因此刀具切削部分的材料必须具备以下几个条件。

(1) 较高的硬度和耐磨性。刀具切削部分的硬度必须高于工件材料的硬度，刀具材料的硬度越高，其耐磨性越好。刀具材料在常温下的硬度应在 62HRC 以上。

(2) 足够的强度和韧性。刀具在切削过程中承受很大的压力，有时还在冲击和振动条件下工作，要使刀具不崩刃和折断，刀具材料必须具有足够的强度和韧性，一般用抗弯强度表示刀具材料的强度，用冲击值表示刀具材料的韧性。

(3) 较高的耐热性。耐热性是指刀具材料在高温下保持硬度、耐磨性、强度及韧性的性能，是衡量刀具材料切削性能的主要指标，这种性能也称刀具材料红硬性。

(4) 较好的导热性。刀具材料的导热系数越大，刀具传出的热量越多，有利于降低刀具的切削温度和提高刀具的耐用度。

(5) 良好的工艺性。为便于刀具的加工制造，要求刀具材料具有良好的工艺性能，如刀具材料的锻造、轧制、焊接、切削加工和可磨削性、热处理特性及高温塑性变形性能，对于硬质合金和陶瓷刀具材料还要求有良好的烧结与压力成形的性能。

2.4.3 刀具材料的种类

1. 高速钢

高速钢是由 W、Cr、Mo 等合金元素组成的合金工具钢，其物理机械性能如表 2-6 所示。高速钢具有较高的热稳定性，较高的强度和韧性，并有一定的硬度和耐磨性，因而适合于加工有色金属和各种金属材料，又由于高速钢有很好的加工工艺性，适合制造复杂的成形刀具，特别是粉末冶金高速钢，具有各向异性的机械性能，减少了淬火变形，适合制造精密与复杂的成形刀具。

表 2-6 高速钢的物理机械性能

类 型	牌 号	硬度 (HRC)	抗弯强度 (MPa)	冲击韧性 (kJ/m ²)	高 温 硬 度	
					500℃	600℃
通用高速钢	W18Cr4V	63~66	3000~3400	180~320	56	48.8
	W6Mo5Cr4V2	63~66	3500~4000	300~400	55~56	47~48
高碳高速钢	CW6Mo5Cr4V2	67~68	3500	130~260	—	52.1
高钒高速钢	W6Mo5Cr4V3	65~67	~3200	~250	—	51.7
含钴高速钢	W6Mo5Cr4V3Co8	66~68	~3000	~300	—	54
超硬高速钢	W2Mo9Cr4VCo8	67~69	2700~3800	230~300	~60	~55
	W6Mo5Cr4V2Al	67~69	2900~3900	230~300	60	55

2. 硬质合金

硬质合金具有很高的硬度和耐磨性，切削性能比高速钢好，耐用度是高速钢的几倍至数十倍，但冲击韧性较差。由于其切削性能优良，因此被广泛用作刀具材料。如表 2-7 所示，列举了硬质合金的种类。

表 2-7 硬质合金的种类

种 类	成 分	ISO 标准	应 用 范 围
YT	WC-TiC-Co	P	加工钢、不锈钢和长切屑可锻铸铁
YG	WC-Co	K	加工铸铁、冷硬铸铁、短切屑铸铁、淬火钢和有色金属
YW	WC-TiC-TaC(NbC)Co	M	加工铸钢、锰钢、合金铸铁、奥氏体不锈钢、可锻铸铁、易切屑钢和耐热钢

3. 涂层刀具

常用的涂层材料有 TiC、TiN、Al₂O₃ 等。

4. 非金属刀具

主要由聚晶金刚体和立方氮化硼等刀具材料制造而成。

2.5 数控车床刀具

数控车床刀具的标准化和模块化不但提高了数控机床的工作效率，而且在使用中非常方便。数控车床的刀具分为刀杆与刀片两部分。在数控车床加工中更换磨损的刀片，只需松开螺钉，将刀片转位，再将新的刀刃放于切削位置即可，因此又称之为可转位刀片。由于可转位刀片的尺寸精度较高，刀片转位固定后一般不需要刀具尺寸补偿或仅需要少量刀片尺寸补偿就能正常使用。

2.5.1 数控车床刀具类型

数控车床刀具按进刀方向可分为左进刀、右进刀和中间进刀三种形式；按刀具对工件的加工位置可分为内孔加工、外圆加工和端面加工三种形式；按加工工件形状可分为切槽、螺纹和仿形加工三种形式。如图 2.20 所示为数控与床外圆和端面车刀，如图 2.21 所示为数控车床内孔车刀。

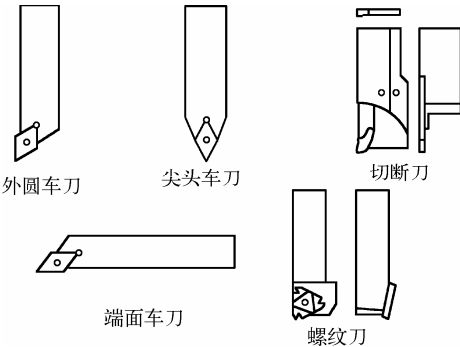


图 2.20 数控车床外圆和端面车刀

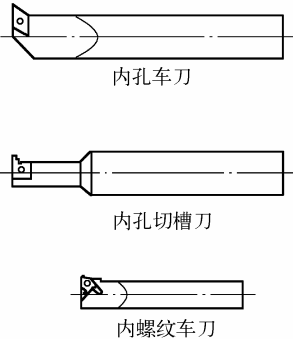


图 2.21 数控车床内孔车刀

2.5.2 可转位刀片型号与ISO表示规则

常见的可转位刀片型号的表示方式如下：

C	N	M	G	12	04	08		R	PF
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

式中，1 表示为刀片形状的代码（见图 2.22），如代码 C 表示刀尖角为 80°；
2 表示为主切削刃后角的代码（见图 2.23），如代码 N 表示后角为 0°；

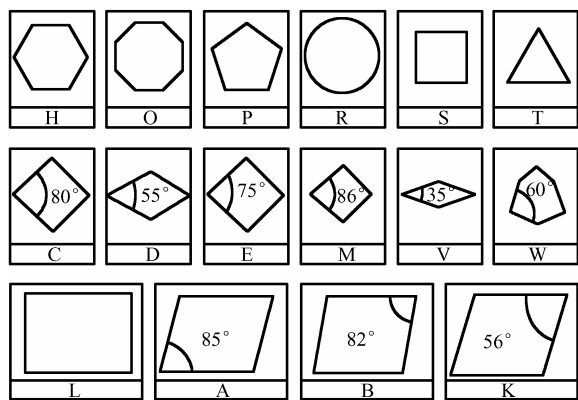


图 2.22 刀片形状代码图

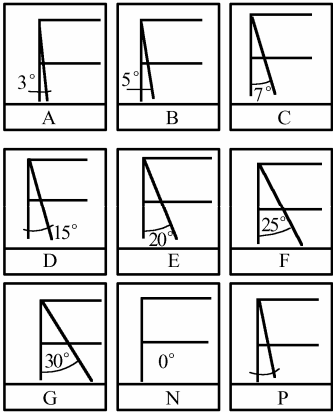


图 2.23 主切削刃后角代码

3 表示为刀片尺寸公差代码（见表 2-8），如代码 M 表示刀片厚度公差为 ±0.130 mm；

表 2-8 刀片尺寸公差代码表

级 别 符 号	公差 (mm)			公差 (inches)		
	m	s	d	m	s	d
A	±0.005	±0.025	±0.025	±0.0002	±0.001	±0.0010
F	±0.005	±0.025	±0.013	±0.0002	±0.001	±0.0005
C	±0.013	±0.025	±0.025	±0.0005	±0.001	±0.0010
H	±0.013	±0.025	±0.013	±0.0005	±0.001	±0.0005
E	±0.025	±0.025	±0.025	±0.0010	±0.001	±0.0010
G	±0.025	±0.013	±0.025	±0.0010	±0.005	±0.0010
J	±0.005	±0.025	±0.05 ±0.13	±0.0002	±0.001	±0.002 ±0.005
K	±0.013	±0.025	±0.05 ±0.13	±0.0005	±0.001	±0.002 ±0.005
L	±0.025	±0.025	±0.05 ±0.13	±0.0010	±0.001	±0.002 ±0.005
M	±0.08 ±0.18	±0.013	±0.05 ±0.13	±0.003 ±0.007	±0.005	±0.002 ±0.005
N	±0.08 ±0.18	±0.025	±0.05 ±0.13	±0.003 ±0.007	±0.001	±0.002 ±0.005
U	±0.013 ±0.38	±0.013	±0.08 ±0.25	±0.005 ±0.015	±0.005	±0.003 ±0.010

注：表中 *s* 为刀片厚度，*d* 为刀片内切圆直径，*m* 为刀片尺寸参数（见图 2.24）。

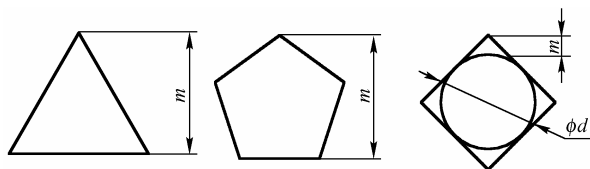


图 2.24 刀片尺寸参数

4 表示为刀片断屑及夹固形式的代码（见图 2.25），如代码 G 表示双面断屑槽，夹固形式为通孔；

A	B 70°~90°	C 70°~90°	F	G	H 70°~90°	J 70°~90°
M	N	Q 40°~60°	R	T 40°~60°	U 40°~60°	W 40°~60°

图 2.25 刀片断屑及夹固形式代码

5 表示为切削刃长度的代码（见图 2.26），如代码 12 表示切削刃长度为 12mm；
6 表示为刀片厚度的代码（见图 2.27），如代码 04 表示刀片厚度为 4.76mm；
7 表示为修光刃的代码（见图 2.28），如代码 08 表示刀尖圆弧半径为 0.8mm；

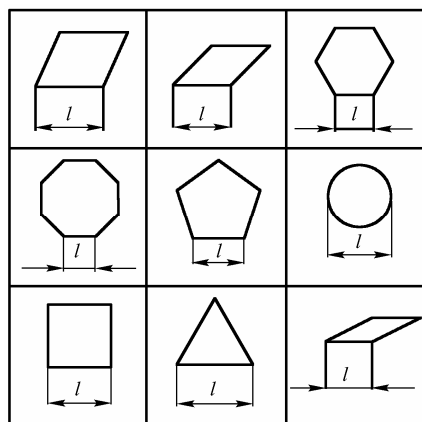


图 2.26 切削刃长度表示方法

mm	
01s=1.59	043s=4.76
T1s=1.98	053s=5.56
02s=2.38	063s=6.35
03s=3.18	073s=7.94
T3s=3.97	093s=9.52

图 2.27 刀片厚度代码

圆弧半径
00—尖锐
02—0.2
04—0.4
08—0.8
12—1.2
16—1.6
20—2.0
24—2.4
32—3.2

图 2.28 修光刃代码

8 表示为特殊需要的代码；

9 表示为进给方向的代码，如代码 R 表示右进刀，代码 L 表示左进刀，代码 N 表示中间进刀；

10 表示为断屑槽型的代码（见表 2-11）。

2.5.3 可转位刀片型号的选用

可转位刀片型号的选用分为四个步骤：选择刀片夹固系统→选择刀片型号→选择刀片刀尖圆弧→选择刀片材料牌号。

1. 选择刀片夹固系统

根据切削加工要求，按表 2-9 所示的推荐，选择合适的刀片夹固方式，刀片夹固系统的结构如图 2.29 所示，刀片夹固系统的使用性能分成 1~5 级，其中 5 级是最佳选择。

表 2-9 刀片夹固系统选用推荐表

夹 固 方 式	杠杆式 楔钩式 螺销上压式	压 孔 式	压板上压式	仿形上压式
外圆粗车	5	2	2	4
外圆精车	4	5	4	4
内圆粗车	5	2	2	4
内圆精车	4	5	5	4
切屑流向	5	5	3	3

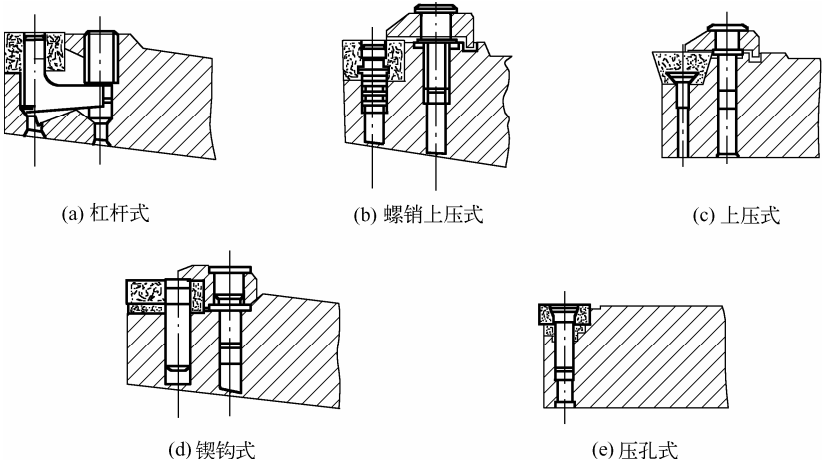


图 2.29 刀片夹固系统

2. 选择可转位刀片型号

选择可转位刀片型号时要考虑多方面的因素，根据加工零件的形状选择刀片形状代码；根据切削加工的材料选择主切削刃后角代码；根据零件的加工精度选择刀片尺寸公差代码；根据加工要求选择刀片断屑及夹固形式代码；根据选用的切削用量选择刀片切削刃长度代码；此外还要选择刀片断屑槽型；通过理论公式计算刀片切削刃长度。

(1) 选择刀片断屑槽型。如表 2-10 所示，根据切削用量把加工要求分为超精加工、精加工、半精加工、粗加工、重力切削五个等级，分别用代码 A、B、C、D、E 表示。又根据工件材料的切削性能选用合适的刀片断屑槽型，如表 2-11 所示，刀片断屑槽型的使用性能分成 1~5 级，其中 5 级是最佳选择。

表 2-10 切削用量选用参考表

代 码	加 工 要 求	进给量 <i>f</i> (mm/r)	切削深度 <i>a_p</i> (mm)
A	超精加工	0.05~0.15	0.25~2.0
B	精加工	0.1~0.3	0.5~2.0
C	半精加工	0.2~0.5	2.0~4.0
D	粗加工	0.4~1.0	4.0~10.0
E	重力切削	>1.0	6.0~20.0

表 2-11 刀片断屑槽选用推荐表

断 屑 槽 型	工 件 材 料				
	长屑材料	不锈钢	短屑材料	耐热材料	软材料
	ABCDE	ABCDE	BCDE	ABCD	ABCD
PF	543--	543--	21--	43--	21--
PMF	353--	353--	21--	54--	-33-
PM	-253-	1552-	22--	2552	-232
PMR	-144-	-134-	4554	-221	----
PR	-1455	-1343	1122	--22	-33-
HF	54---	54---	3---	43--	21--
HM	-54--	354--	21--	343-	344-
HR	1451-	2641-	441-	1231	2342
31	--145	--133	4444	--11	----
53	54---	54---	3---	43--	21--
TCGR	54---	54---	3---	43--	21--
PMR	1442-	2442-	322-	1322	2342
PGR	1442-	2442-	322-	1322	2342
NUN	-1343	-----	4554	----	----
NGN	-1343	-----	4554	----	----
PUN	-1443	-3553	4431	-355	-222
PGN	-1443	-3553	4431	-355	-222
11	-431-	-452-	321-	-431	-421
12	-342-	-243-	-353	-253	-242
RCMT	13442	13432	3332	-222	2232
RCMX	-1343	-2322	3433	-222	-111
RNMG	-1242	-221-	233-	-231	----

注：表中断屑槽型为株洲硬质合金厂可转位刀片的断屑槽代码。

(2) 切削刃长度计算。通过刀具主偏角 *K* 和切削深度 *a* 计算刀片有效切削刃长度 *L*，如图 2.30 所示，并推算刀刃的实际长度，然后根据刀刃的实际长度选用合适的切削刃长度代码。

刀片有效切削刃长 *L* 计算公式：

$$L = \frac{a}{\sin K}$$
$$L_{\max} = (0.25 \sim 0.5)L$$
$$L_{\max} = 0.4d$$

式中，*d*——圆形刀片直径，mm；
L——刀片切削刃长度，mm。

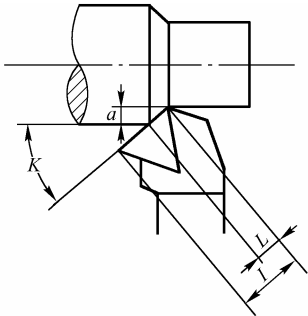


图 2.30 *K*、*a* 和 *L* 之间的关系

粗加工时按刀尖圆弧半径选择刀具最大走刀量，如表 2-12 所示，或通过经验公式计算

刀具走刀量；精加工时按工件表面粗糙度要求计算精加工走刀量。

表 2-12 选用最大走刀量参考表

刀尖圆弧半径 mm	0.4	0.8	1.2	1.6	2.4
最大走刀量 mm/r	0.25~0.35	0.4~0.7	0.5~1.0	0.7~1.3	1.0~1.8

(1) 粗加工。粗加工走刀量经验计算公式：

$\phi_{粗} = 0.5R$

式中， R ——刀尖圆弧半径，mm；
 $\phi_{粗}$ ——粗加工走刀量，mm。

(2) 精加工。根据表面粗糙度理论公式推算精加工进给量 f 公式：

$R_t = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \times 1000$

式中， R_t ——轮廓深度， μm ；
 f ——进给量，mm/r；
 r_ϵ ——刀尖圆弧半径，mm。

4. 选择刀片材料牌号

国际 ISO 标准把硬质合金刀片材料分为 P、K、M 三类，分别加工钢、铸铁、合金钢以及不易加工的材料。如表 2-13、表 2-14 和表 2-15 所示，分别为株洲硬质合金厂生产的可转位刀片材料牌号。根据车削工件的材料及其硬度、选用的切削用量来选择可转位刀片材料的牌号。

表 2-13 ISO 标准 P 类常用刀片牌号

材料	硬 度 HB	基 本 牌 号					
		TN315	TN325	YB415	YB425	YB435	YB235
		进给量（mm/r）					
		0.05-0.1-0.2	0.05-0.1-0.3	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.2-0.5-1.0	0.1-0.4-0.6
		切削速度（m/min）					
碳素钢	125	640-530-430	490-410-290	480-345-250	440-300-205	380-230-165	180-130-110
	150	580-490-390	450-380-260	440-315-230	400-275-190	300-210-150	165-120-100
	200	510-430-340	390-330-230	385-216-200	350-250-165	260-185-130	145-105-90
合金钢	180	445-370-300	315-265-180	380-265-195	320-220-170	200-140-100	155-110-90
	275	305-250-205	215-160-125	260-180-130	215-150-115	140-100-70	105-75 -60
	300	280-235-190	200-165-115	240-165-120	200-135-105	125-90 -60	95-70 -50
	350	245-205-165	175-145-100	210-145-105	170-120-90	110-75 -55	85-60 -45
高合金钢	200	400-330	280-235-165	350-230-170	280-185-135	175-115-80	145-100-80
	325	195-150	145-115-80	170-110	120- 80-60	85- 55-40	65- 45-35
不锈钢	200	345-285	290-145-180	295-240-190	275-210-165	225-180-145	130-110-90
铸钢	180	270-225	190-155	260-185-145	230-160-120	135-105-75	100- 85-60
	200	270-225	190-155	255-180-95	190-125-85	120- 90-80	90- 75-55
	225	220-180	150-120	190-130-95	170-115-80	95- 70-55	80- 60-45

2.6 数控铣床刀具

数控铣床与加工中心使用的刀具种类很多，主要分铣削刀具和孔加工刀具两大类，所用刀具正朝着标准化、通用化和模块化的方向发展，为满足高效和特殊的铣削要求，又发展了各种特殊用途的专用刀具。

2.6.1 数控铣刀与工具系统

1. 铣刀结构

铣刀的结构分为三部分：切削部分，导入部分和柄部，如图 2.31 所示。铣刀的柄部为 7:24 圆锥柄，这种圆锥柄不会自锁，换刀方便，具有较高的定位精度和较大的刚性。

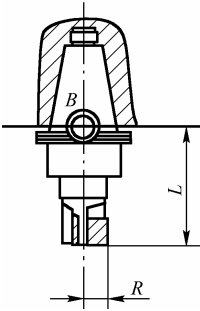


图 2.31 铣刀的结构

表 2-14 ISO 标准 M 类常用刀片牌号

材 料	硬 度 HB	基 本 牌 号				备 注	
		TN325	YB325	YL10.1	YL10.2		
		进给量（mm/r）					
		0.05-0.1-0.2	0.2-0.4-0.6-0.8	0.2-0.5-1.0	0.3-0.6-1.2		
		切削速度（m/min）					
不锈钢	180	220-205-180	120-105-90-80		100-70		奥氏体
耐热合金	200				63-32-15	45-27-12	退火铁基
	280				46-23-9	30-19	时效铁基
	280				27-14	17	退火镍基
	350				17	10	时效
	320				15	10	铸造钴基

表 2-15 ISO 标准 K 类常用刀片牌号

材 料		硬度 HB	基 本 牌 号		
			YB3015	YB435	YL10.1
			进给量(mm/r)		
			0.1-0.4-0.8	0.2-0.5-1.0	0.2-0.5-1.0
			切削速度(m/min)		
淬火钢	淬火钢 锰钢	55 250	(HRC)		
可锻铸铁	铁光体 珠光体	130 230	315-270-210 225-155-95	175-145-100 120- 85-50	105- 75-45 80- 60-30
低强度铸铁		180	475-290-185	225-150-90	135- 95-60
高强度铸铁		260	270-175-110	155- 95-55	95- 65-40
球墨 铸铁	铁素体 珠光体	160 250	285-200-140 210-145-100	165-110-70 120- 90-55	115- 80-45 80- 50-30
冷硬铸铁		400			17-11
铝合金	未热处理 热处理	60 100			1750-1280-800 510- 370-250

材 料		硬度 HB	基 本 牌 号		
			YB3015	YB435	YL10.1
			进给量 (mm/r)		
			0.1-0.4-0.8	0.2-0.5-1.0	0.2-0.5-1.0
			切削速度 (m/min)		
铸铝 合金	未热处理	75			460-285-175
	热处理	90			300-180-110
铜合金	铝合金	110			610-430-295
	黄铜、紫铜	90			310-250-195
	青铜电解铜	100			225-160-115
其他材料	硬塑料				380-240
	纤维材料				190-120
	硬橡胶				225-160

2. 工具系统

工具系统是指连接数控机床与刀具的系列装夹工具，有刀柄、连杆、连接套和夹头等组成。数控机床工具系统能实现刀具的快速、自动装夹。随着数控工具系统的应用与日俱增，我国已经建立了标准化、系列化、模块式的数控工具系统。数控机床的工具系统分为整体式和模块式两种形式。

(1) 整体式工具系统 TSG。按连接杆的形式分为锥柄和直柄两种类型。锥柄连接杆的代码为 JT，如图 2.32 所示；直柄连接杆的代码为 JZ，如图 2.33 所示。整体式工具系统结构简单、使用方便、装夹灵活、更换迅速。由于该系统工具的品种、规格繁多，给生产、使用和管理带来不便。

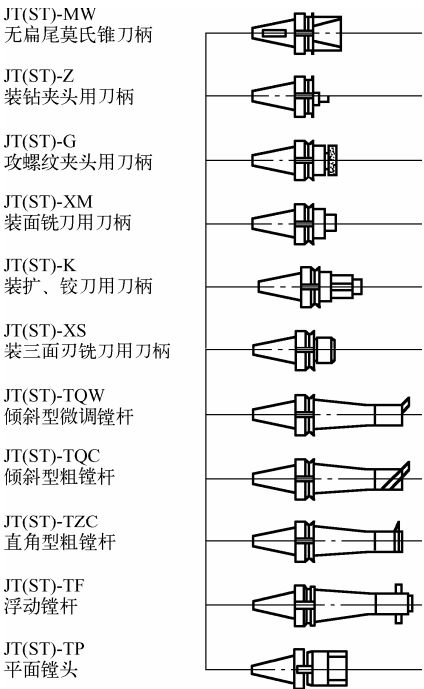


图 2.32 锥柄式工具系统

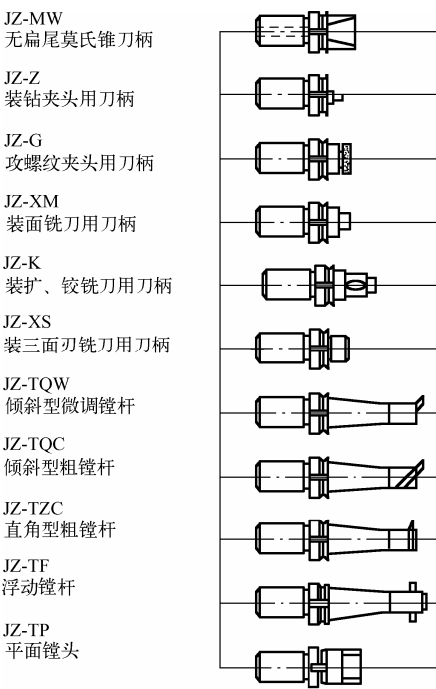


图 2.33 直柄式工具系统

(2) 模块式工具系统 TMG。模块式工具系统 TMG 有下列三种结构形式：圆柱连接系列 TMG21，如图 2.34(a)所示，轴心用螺钉拉紧刀具；短圆锥定位系列 TMG10，如图 2.34(b)所示，轴心用螺钉拉紧刀具；长圆锥定位系列 TMG14，如图 2.34(c)所示，用螺钉锁紧刀具。模块式工具系统以配置最少的工具来满足不同零件的加工需要，因此该系统增加了工具系统的柔性，是工具系统发展的高级阶段。

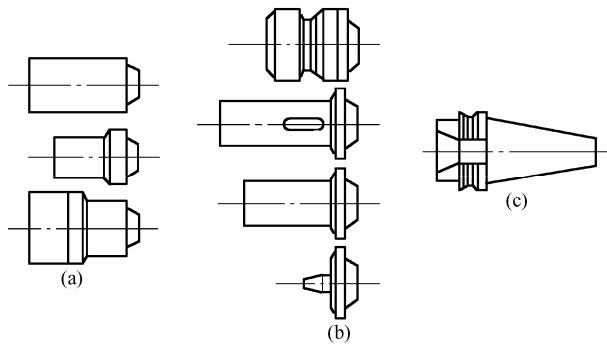


图 2.34 模块式工具系统

3. 切削刀具简介

(1) 孔加工刀具。

- ① 中心钻：用于孔加工定位。
- ② 麻花钻：主要用于钻削孔。
- ③ 阶梯钻：一种高效的复合刀具，用于钻削阶梯孔。
- ④ 铰刀：主要用于孔的精加工。
- ⑤ 镗刀：主要用于扩孔和孔的精加工。

(2) 铣削加工刀具。

- ① 平面铣刀：主要有圆柱铣刀和端面铣刀两种形式。
- ② 沟槽铣刀：最常用的沟槽铣刀有立铣刀、三面刃盘铣刀、键槽铣刀和角度铣刀。
- ③ 模具铣刀：模具铣刀切削部分有球形、凸形、凹形和 T 形等各种形状。
- ④ 组合成形铣刀：用多把铣刀组合使用，同时加工一个或多个零件，不但可以提高生产率，还可以保证零件的加工质量。

2.6.2 数控铣床刀具的选择

数控铣床切削加工具有高速、高效的特点，与传统铣床切削加工相比较，数控铣床对切削加工刀具的要求更高，铣削刀具的刚性、强度、耐用度和安装调整方法都会直接影响切削加工的工作效率；刀具本身的精度，尺寸稳定性都会直接影响工件的加工精度及表面的加工质量，合理选用切削刀具也是数控加工工艺中的重要内容之一。

1. 孔加工刀具的选用

(1) 数控机床孔加工一般无钻模，由于钻头的刚性和切削条件差，选用钻头直径 D 应满

足 $L/D \leq 5$ (L 为钻孔深度) 的条件。

- (2) 钻孔前先用中心钻定位，保证孔加工的定位精度。
- (3) 精铰孔可选用浮动铰刀，铰孔前孔口要倒角。
- (4) 镗孔时应尽量选用对称的多刃镗刀头进行切削，以平衡径向力，减少镗削振动。
- (5) 尽量选择较粗和较短的刀杆，以减少切削振动。

2. 铣削加工刀具选用

- (1) 镶装不重磨可转位硬质合金刀片的铣刀主要用于铣削平面，粗铣时铣刀直径选小一些，精铣时铣刀直径选大一些，当加工余量大且余量不均匀时，刀具直径选小一些，否则会造成因接刀刀痕过深而影响工件的加工质量。
- (2) 对立体曲面或变斜角轮廓外形工件加工时，常采用球头铣刀、环形铣刀、鼓形铣刀、锥形铣刀、盘形铣刀。
- (3) 高速钢立铣刀多用于加工凸台和凹槽。如果加工余量较小，表面粗糙度要求较高时，可选用镶立方氮化硼刀片或镶陶瓷刀片的端面铣刀。
- (4) 毛坯表面或孔的粗加工，可选用镶硬质合金的玉米铣刀进行强力切削。
- (5) 加工精度要求较高的凹槽，可选用直径比槽宽小的立铣刀，先铣槽的中间部分，然后利用刀具半径补偿功能铣削槽的两边。

2.7 数控工艺分析实例

2.7.1 车削加工轴类零件

例 2-1 车削加工如图 2.35 所示的零件，数控车床型号为 CK6150，数控系统为 FANUC 0T-C，工件毛坯尺寸为 $\phi 24\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ ，工件材料为 45 号钢。要求：对工件进行工艺分析；确定工件装夹方案；确定加工顺序及进给路线；选择切削刀具；选择切削用量。

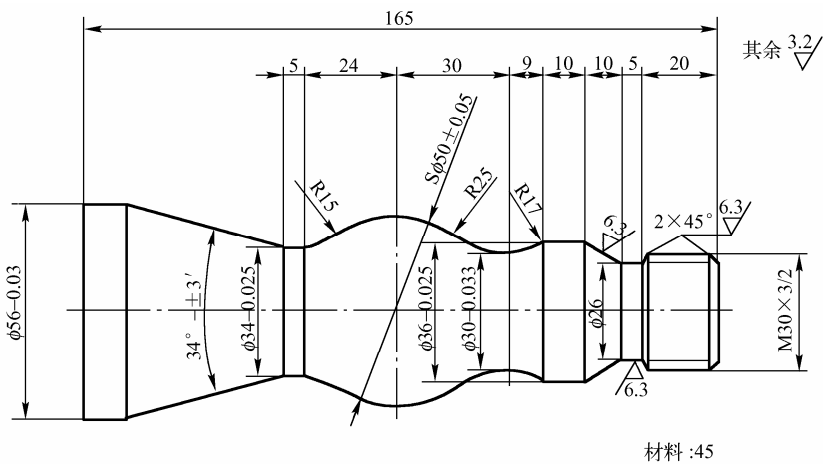


图 2.35 轴类零件图

解：(1) 工件的工艺分析。该零件表面由圆柱、圆锥、顺圆弧、逆圆弧以及螺纹等表面

组成，零件图尺寸标注完整，加工要求明确，零件材料为 45 号钢，比较容易切削加工。

(2) 工件装夹方案。设定零件的轴线为定位基准，以工件右端面与零件轴线的交点为工件坐标系的原点，左端采用三爪自定心卡盘定心夹紧。

(3) 加工顺序及进给路线。加工顺序按由粗到精、由近到远的原则确定。先车削加工工件右端面后车削加工工件外圆，从右到左进行粗车（留 0.3~0.2 mm 精车余量），然后从右到左进行精车，最后车削螺纹。如图 2.36 所示为该零件的车削加工路线。CK6150 数控车床 FANUC 0T—C 系统的循环指令能以设定的切削参数和进刀路线对零件表面轮廓进行粗、精加工。

(4) 选择切削刀具。选择切削刀具查表 2-8 至表 2-15，车削零件端面和外圆时，粗车的刀具夹固系统采用压孔式 2 级，可转位刀片型号为 VAMT120408RPF，刀片牌号为 YB235；精车的刀具夹固系统采用压孔式 5 级，可转位刀片型号为 VCGT120404RPF，刀片牌号为 YB235；车削螺纹时刀具夹固系统采用压孔式 5 级，可转位刀片型号为 TCGT120404RPF，刀片牌号为 YB235。

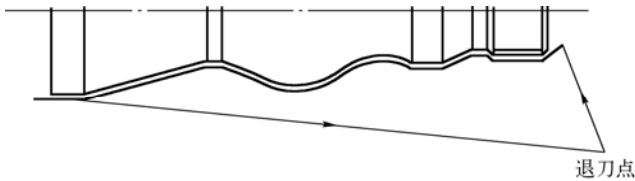


图 2.36 车削加工路线

(5) 选择切削用量。

吃刀深度：粗车时 $a_p=3\text{ mm}$ ；精车时 $a_p=0.25\text{ mm}$ 。

主轴转速：车削直线和圆弧轮廓时，根据零件材料与加工要求查表 2-1，粗车切削速度 $v_c=90\text{ m/min}$ ，精车切削速度 $v_c=120\text{ m/min}$ ，按公式 $v_c=\pi dn/1000$ ，计算粗车主轴转速 $n=500\text{ r/min}$ ，精车主轴转速 $n=1200\text{ r/min}$ 。车削螺纹主轴转速：按公式 $n\leq \frac{1200}{p}-k$ ，计算主轴转速 $n=320\text{ r/min}$ 。

进给量：根据零件材料与加工要求查表 2-2，粗车时进给量 $f=0.4\text{ mm/r}$ ，精车时进给量 $f=0.15\text{ mm/r}$ ，经换算得进给量：粗车 $v_f=200\text{ mm/min}$ ，精车 $v_f=180\text{ mm/min}$ 。根据图纸加工要求，螺纹车削进给量 $f=3\text{ mm/r}$ 。

2.7.2 铣削平面凸轮零件

例 2-2 铣削加工如图 2.37 所示的平面凸轮零件，数控铣床型号为 XK5040，数控系统为 FANUC 0M-C。要求：对工件进行工艺分析；确定工件装夹方案；加工顺序及进给路线；选择切削刀具；选择切削用量。

解：(1) 工件的工艺分析。凸轮轮廓由圆弧 BC、CD、DE、FA 和直线 AB、EF 所组成，工件材料为铝，比较容易切削加工。该工件在铣削加工前已经加工好两端面和孔 $\phi 12H7$ ，设定底面 A 和孔 $\phi 12H7$ 轴线为定位基准。要求 A 面与铣床主轴轴线垂直，孔 $\phi 12H7$ 与铣床主轴轴线平行，从而保证凸轮槽轮廓面对 A 面的垂直度以及加工时的尺寸与位置精度。

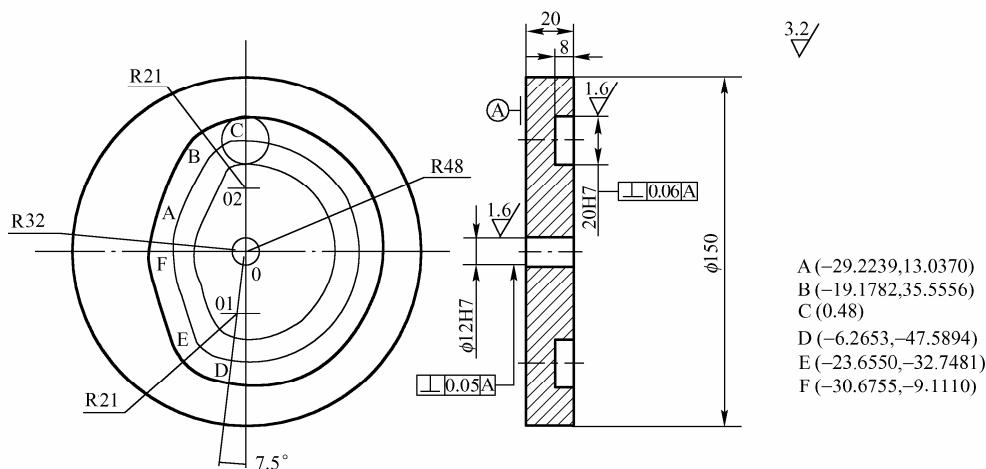


图 2.37 平面凸轮零件

(2) 工件装夹方案。由于该零件为小型凸轮，宜采用心轴定位，螺栓压紧即可。设定工件上表面与孔 $\phi 12H7$ 轴线的交点为工件坐标系的原点。

(3) 加工顺序及进给路线。该凸轮的加工路线包括深度切入进给和平面切削，切削加工时当刀具至指定深度后，刀具在 XY 平面内运动，铣削凸轮轮廓。

(4) 选择刀具及切削用量。

① 选择切削刀具。铣削刀具和刀具材料主要根据零件材料的切削加工性、工件表面几何形状和尺寸大小选择，由于零件材料为铝，切削加工性能较好。可采用整体式 JT-MW 型刀具系统，选用 $\phi 10\text{ mm}$ 的硬质合金键槽铣刀。

② 选择切削用量。依据零件材料铝的切削性能，硬质合金刀具材料的特性及加工精度要求确定切削用量。凸轮槽深 8 mm，分 2 次切削加工。槽深留 1 mm 精铣余量，凸轮两侧面各留 1 mm 精铣余量；切削速度和进给速度的选择应考虑刀具的工作效率和寿命，粗铣时主轴转速取 500 r/min，进给速度取 50 mm/min，精加工前，检测零件几何尺寸，依据检测结果决定刀具长度和刀具半径的偏置量，精铣时主轴转速取 1000 r/min，铣刀进给速度取 25 mm/min，保证尺寸精度和表面质量符合图纸的加工要求。

2.7.3 铣削三维曲面零件

例 2-3 铣削加工如图 2.38 所示的三维曲面零件。（零件尺寸根据练习毛坯自定）要求：对工件进行工艺分析；确定工件装夹方案；加工顺序及进给路线；选择切削刀具；选择切削用量。

解：（1）工件的工艺分析。图 2.38 所示的三维工件由曲面和平面所组成，工件材料为铝合金。该工件底面已经精加工并有安装螺孔，因此选底面为定位基准。

（2）工件装夹方案。利用工件底面安装螺孔，把工件紧固在平板上，校正工件后固定平板。

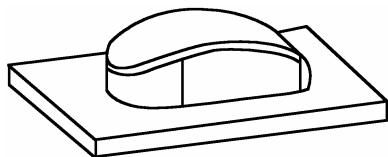


图 2.38 三维零件

（3）加工顺序及进给路线。该三维工件的加工路线为 X、Y、Z 三轴联动进给。

(4) 选择刀具及切削用量。

① 选择切削刀具。铣削刀具和刀具材料主要根据零件材料的切削加工性、工件表面几何形状和尺寸大小选择，由于零件材料为铝合金，所以选择高速钢键槽铣刀和高速钢球头刀作为粗精加工刀具。

② 选择切削用量。依据零件材料、刀具材料、加工精度、机床性能等确定切削用量。例如，粗铣时主轴转速取 500 r/min，铣削深度 2 mm，分 10 次切削加工。留 1 mm 精铣余量，切削速度和进给速度的选择应考虑刀具的工作效率和寿命，进给速度取 50 mm/min。精加工前，检测零件几何尺寸，依据检测结果决定刀具长度和刀具半径的偏置量，精铣时主轴转速取 1000 r/min，铣刀进给速度取 25 mm/min，保证尺寸精度和表面质量符合图纸的加工要求。

2.8 数控车床基本指令

数控车床主要加工轴类零件和法兰类零件，使用四爪卡盘和专用夹具也能加工出复杂的零件。装在数控车床上的工件随同主轴一起作回转运动，数控车床的刀架在 X 轴和 Z 轴组成的平面内运动，主要加工回转零件的端面、内孔和外圆。由于数控车床配置的数控系统不同，使用的指令在定义和功能上有一定的差异，但其基本功能和编程方法还是相同的。

2.8.1 数控车床编程基础

1. 米制与英制编程

数控车床使用的长度单位量纲有公制和英制两种，由专用的指令代码设定长度单位量纲，如 FANUC 0T-C 系统用 G20 表示使用英制单位量纲，G21 表示使用公制单位量纲。

2. 直径与半径编程

数控车床有直径编程和半径编程两种方法，前一种方法把 X 坐标值表示为回转零件的直径值，称为直径编程，由于图纸上都用直径表示零件的回转尺寸，用这种方法编程比较方便，X 坐标值与回转零件直径尺寸保持一致，不需要尺寸换算。另一种方法把 X 坐标值表示为回转零件的半径值，称为半径编程，这种表示方法符合直角坐标系的表示方法。考虑使用上方便，采用直径编程的方法居多数。

3. 车床的前置刀架与后置刀架

数控车床刀架布置有两种形式：前置刀架和后置刀架。如图 2.39 所示，前置刀架位于 Z 轴的前面，与传统卧式车床刀架的布置形式一样，刀架导轨为水平导轨，使用四工位电动刀架；后置刀架位于 Z 轴的后面，刀架的导轨位置与正平面倾斜，这样的结构形式便于观察刀具的切削过程、切屑容易排除、后置空间大，可以设计更多工位的刀架，一般全功能的数控车床都设计为后置刀架。

4. M 指令功能有效性

M 指令功能有效性指在同一程序段中 M 指令功能与其他指令功能有效的顺序，与指令

在程序段中排列次序无关。有的 M 指令功能在其他指令功能执行前有效，如 M03 与 G01 指令；有的 M 指令功能在其他指令功能执行后有效，如 G00 与 M02 指令。

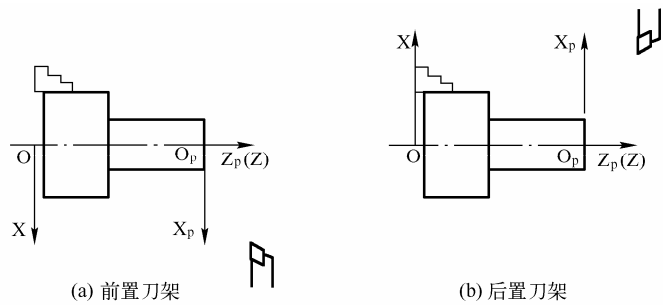


图 2.39 车床的前置刀架与后置刀架

5. 数控机床的初始状态

所谓数控机床的初始状态是指数控机床通电后具有的状态，也称为数控系统内部默认的状态，一般设定绝对坐标方式编程、使用公制长度单位量纲、取消刀具补偿、主轴和切削液泵停止工作等状态作为数控机床的初始状态。

2.8.2 F、S、T指令功能、G指令应用

1. 进给量指令

指令格式：F_
指令功能：F 表示进给地址符。
指令说明：F 表示主轴每转进给量，单位为 mm/r；也可以表示进给速度，单位为 mm/min。其量纲通过 G 指令设定。

2. 主轴转速指令

指令格式：S_
指令功能：S 表示主轴转速地址符。
指令说明：S 表示主轴转速，单位为 r/min；也可以表示切削速度，单位为 m/min。其量纲通过 G 指令设定。

3. 刀具号指令

指令格式：T_
指令功能：T 表示刀具地址符，前两位数表示刀具号，后两位数表示刀具补偿号。通过刀具补偿号调用刀具数据库内刀具补偿参数。

4. G指令应用

(1) 设定工件坐标系指令（G50）。

指令格式: G50 X_ Z_

指令功能: 通过刀具起点或换刀点的位置设定工件坐标系原点。

指令说明: G50 指令后面的坐标值表示刀具起点或换刀点在工件坐标系中的坐标值。

在编写加工程序时, 将工件坐标系的原点设定在工件的设计基准与工艺基准处, 工件坐标系又称编程坐标系, 其坐标系原点又称编程原点或编程零点, 如图 2.40 所示的 O_p 点, 这样对编写程序带来很大的方便。

G50 指令的功能通过设置刀具起点或换刀点相对于工件坐标系的坐标值来建立工件坐标系, 这里的刀具起点或换刀点是指车刀或镗刀的刀尖位置。设置换刀点的原则, 既要保证换刀时刀具不碰撞工件, 又要保证换刀时的辅助时间最短。如图 2.40 所示, 设定换刀点距工件坐标系原点在 Z 轴方向距离为 B, 在 X 轴方向距离为 A(直径值), 执行程序段中指令 G50 XA ZB 后, 在系统内部建立了以 O_p 为原点的工件坐标系。

设置工件坐标系时, 刀具起点位置可以不变, 通过 G50 指令的设定, 把工件坐标系原点设在所需要的工件位置上, 如图 2.41 所示。

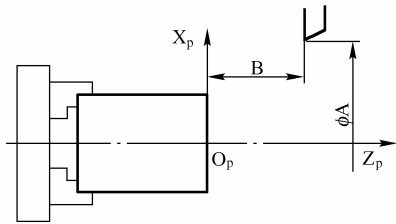


图 2.40 刀具起点设置 (工件坐标系)

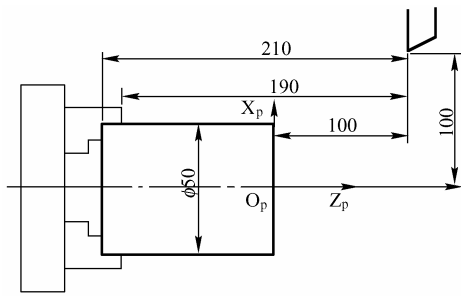


图 2.41 设置工件坐标系

工件坐标系原点设定在工件左端面位置: G50 X200 Z210

工件坐标系原点设定在工件右端面位置: G50 X200 Z100

工件坐标系原点设定在卡爪前端面位置: G50 X200 Z190

显然, 当 G50 指令中相对坐标值 A、B 不同或改变刀具的刀具起点位置, 所设定工件坐标系原点的位置也发生变化。

通过对刀操作, 运用 G50 指令可以建立起刀点或换刀点相对于工件坐标系原点的位置关系。其具体操作步骤如下:

① 回参考点操作。用 HOME (回参考点) 方式, 进行回参考点操作, 通过刀具返回机床零点, 消除刀具运行中插补的累积误差。

② 试切削操作。用手动方式操纵机床, 首先切削工件外圆表面, 然后保持刀具在 X 方向位置不变, 沿 Z 方向退刀, 记录显示在屏幕上 X 方向坐标值 X_t , 并测量试切后的工件外圆直径 D。然后切削工件的右端面, 保持刀具在 Z 方向位置不变, 沿 X 方向退刀, 记录显示屏幕上 Z 方向坐标值 Z_t 。

③ 设定刀具起点位置。用手摇脉冲发生器移动刀具, 使刀具移动至 CRT 屏幕上所显示的坐标位置 (X_t+A-D , Z_t+B), 这样将刀尖置于所要求的起刀点位置 (A, B) 上, 此时如果执行 G50 XA ZB 指令代码, 则 CRT 显示的刀尖坐标位置 (A, B), 即数控系统用新建立的工件坐标系取代了原来的坐标系。

用 G50 指令还可控制零件的加工精度,如果数控车床加工零件的直径尺寸偏差超出了极限偏差值,可用工件坐标系平移的方法控制加工尺寸。一种方法是刀具起点位置不变,改变 G50 程序段中 X 坐标值 A,坐标值 A 随加工尺寸偏大而相应增加,反之,坐标值 A 随加工尺寸偏小而相应减小。另一种方法是 G50 程序段中坐标值不变,改变刀具起点的位置,刀具起点距 Z 轴的距离随加工尺寸偏大而相应缩小,反之,刀具起点距 Z 轴的距离随加工尺寸偏小而相应增大。使用这两种方法,在执行 G50 指令后都能调整加工尺寸的偏差。

有的数控系统用 G54 指令确定工件坐标系 $X_pO_pZ_p$ 相对机床坐标系 XOZ 的位置,以此方法建立工件坐标系, G54 指令中 X、Z 表示工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

例 2-4 设 O_p 点为工件坐标系原点, O_p 点在机床坐标系中的坐标值为 (0,150),用 G54 指令设置工件坐标系。

G54 X0 Z150

(2) 快速进给指令 (G00)。

指令格式: G00 X (U) _ Z (W) _

指令功能: G00 指令表示刀具以机床给定的快速进给速度移动到目标点,又称为点定位指令。

指令说明: 采用绝对坐标编程, X、Z 表示目标点在工件坐标系中的坐标值; 采用增量坐标编程, U、W 表示目标点相对当前点的移动距离与方向。

例 2-5 如图 2.42 所示, 刀具从换刀点 A (刀具起点) 快进到 B 点, 试分别用绝对坐标方式和增量坐标方式编写 G00 程序段。

绝对坐标编程: G00 X40 Z122

增量坐标编程: G00 U-60 W-80

(3) 直线插补指令 (G01)。

指令格式: G01 X (U) _ Z (W) _ F _

指令功能: G01 指令使刀具以设定的进给速度从所在点出发, 直线插补至目标点。

指令说明: 采用绝对坐标编程, X、Z 表示目标点在工件坐标系中的坐标位置; 采用增量坐标编程, U、W 表示目标点相对当前点的移动距离与方向, 其中 F 表示进给速度, 在无新的 F 指令替代前一直有效。

例 2-6 如图 2.43 所示, 设零件各表面已完成粗加工, 试分别用绝对坐标方式和增量坐标方式编写 G00, G01 程序段。

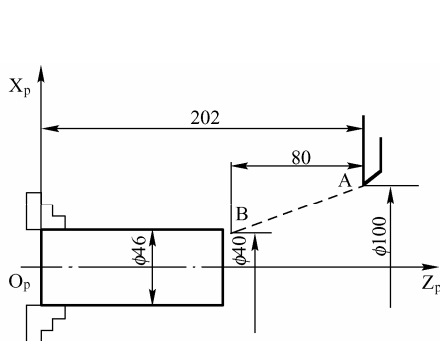


图 2.42 快速定位

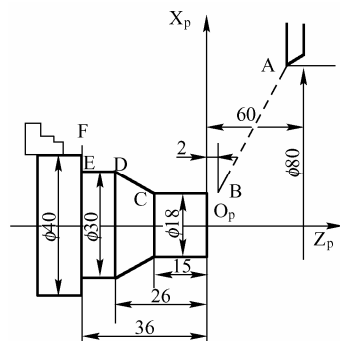


图 2.43 直线插补

解：绝对坐标编程：

G00 X18 Z2	A→B
G01 X18 Z-15 F50	B→C
G01 X30 Z-26	C→D
G01 X30 Z-36	D→E
G01 X42 Z-36	E→F

增量坐标编程：

G00 U-62 W-58	A→B
G01 W-17 F50	B→C
G01 U12 W-11	C→D
G01 W-10	D→E
G01 U12	E→F

(4) 圆弧插补指令 (G02, G03)。

指令格式：G02 X (U) _ Z (W) _ I _ K _ (R) F _

G03 X (U) _ Z (W) _ I _ K _ (R) F _

指令功能：G02、G03 指令表示刀具以进给速度 F 从圆弧起点向圆弧终点进行圆弧插补。

指令说明：

(1) G02 为顺时针圆弧插补指令，G03 为逆时针圆弧插补指令。圆弧的顺、逆方向判断如图 2.44(a)所示，朝着与圆弧所在平面相垂直的坐标轴的负方向看，顺时针为 G02，逆时针为 G03，图 2.44(a)、(b)分别表示了车床前置刀架和后置刀架对圆弧顺与逆方向的判断。

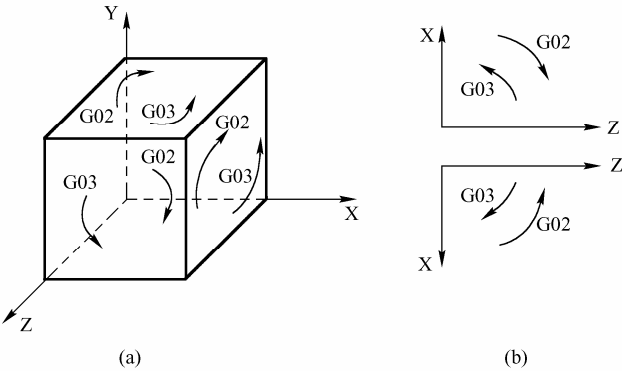


图 2.44 圆弧的顺逆方向

(2) 如图 2.45 所示，采用绝对坐标编程，X、Z 为圆弧终点坐标值；采用增量坐标编程，U、W 为圆弧终点相对圆弧起点的坐标增量，R 是圆弧半径，当圆弧所对圆心角为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 时，R 取正值；当圆心角为 $180^\circ \sim 360^\circ$ 时，R 取负值。I、K 为圆心在 X、Z 轴方向上相对圆弧起点的坐标增量（用半径值表示），I、K 为零时可以省略。

例 2-7 如图 2.46 所示，走刀路线为 A→B→C→D→E→F，试分别用绝对坐标方式和增量坐标方式编程。

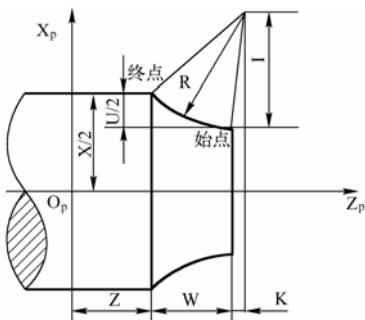


图 2.45 圆弧插补

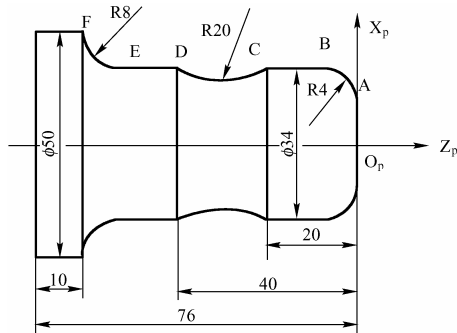


图 2.46 圆弧插补应用

解：绝对坐标编程：

G03 X34 Z-4 K-4 (或 R4) F50	A→B
G01 Z-20	B→C
G02 Z-40 R20	C→D
G01 Z-58	D→E
G02 X50 Z-66 I8 (或 R8)	E→F

增量坐标编程：

G03 U8 W-4 K-4 (或 R4) F50	A→B
G01 W-16	B→C
G02 W-20 R20	C→D
G01 W-18	D→E
G02 U16 W-8 I8 (或 R8)	E→F

(5) 螺纹切削指令 (G32)。

指令格式：G32 X (U) _ Z (W) _ F _

指令功能：切削加工圆柱螺纹、圆锥螺纹和平面螺纹。

指令说明：

① F 表示长轴方向的导程，如果 X 轴方向为长轴，F 为半径值。对于圆锥螺纹（图 2.47），其斜角 α 在 45° 以下时，Z 轴方向为长轴；斜角 α 在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 时，X 轴方向为长轴；

② 圆柱螺纹切削加工时，X、U 值可以省略，格式为 G32 Z (W) _ F _；

③ 端面螺纹切削加工时，Z、W 值可以省略，格式为 G32 X (U) _ F _；

④ 螺纹切削应注意在两端设置足够的升速进刀段 δ_1 和降速退刀段 δ_2 。

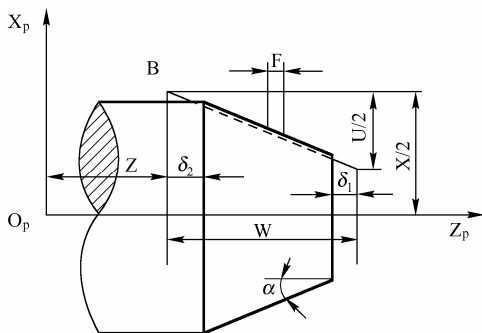


图 2.47 螺纹切削图

例 2-8 如图 2.48 所示，走刀路线为 A→B→C→D→A，切削圆锥螺纹，螺纹导程为 4 mm， $\delta_1 = 3$ mm， $\delta_2 = 2$ mm，每次背吃刀量为 1 mm，切削深度为 2 mm。

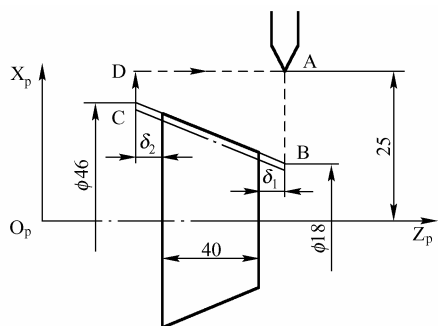


图 2.48 螺纹切削应用

解：程序如下：

```
G00 X16
G32 X44 W-45 F4
G00 X50
W45
X14
G32 X42 W-45 F4
G00 X50
W45
```

(6) 外圆切削单一循环指令 (G90)。

指令格式：G90 X (U) _ Z (W) _ R _ F _

指令功能：实现外圆切削循环和锥面切削循环，刀具从循环起点按图 2.49 与图 2.50 所示走刀路线，最后返回到循环起点，图中虚线表示按 R 快速移动，实线表示按指定的工件进给速度 F 移动。

指令说明：

X、Z 表示切削终点坐标值；

U、W 表示切削终点相对循环起点的坐标分量；

R 表示切削始点与切削终点在 X 轴方向的坐标增量（半径值），外圆切削循环时 R 为零，可省略；

F 表示进给速度。

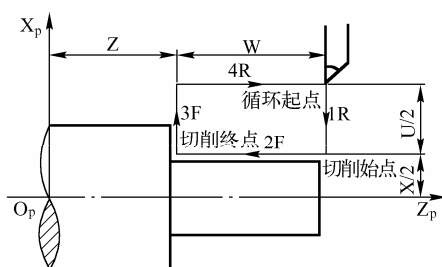


图 2.49 外圆切削循环

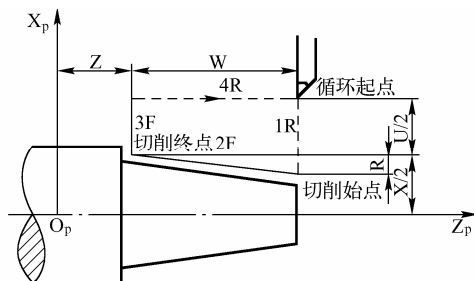


图 2.50 锥面切削循环

例 2-9 如图 2.51 所示，运用外圆切削循环指令编程。

解：程序如下：

```
G90 X40 Z20 F30      A→B→C→D→A
X30                  A→E→F→D→A
X20                  A→G→H→D→A
```

例 2-10 如图 2.52 所示，运用锥面切削循环指令编程。

解：程序如下：

```
G90 X40 Z20 R-5 F30   A→B-C-D→A
X30                   A-E-F-D-A
```

X20

A→G-H-D→A

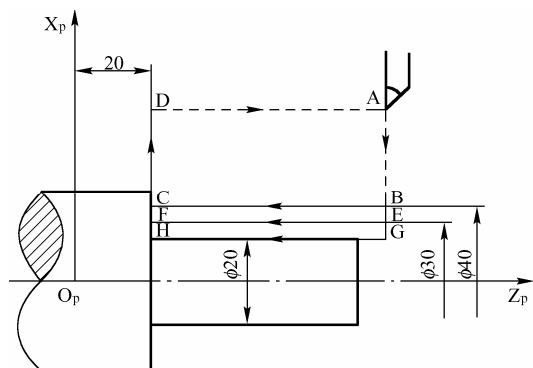


图 2.51 外圆切削循环应用

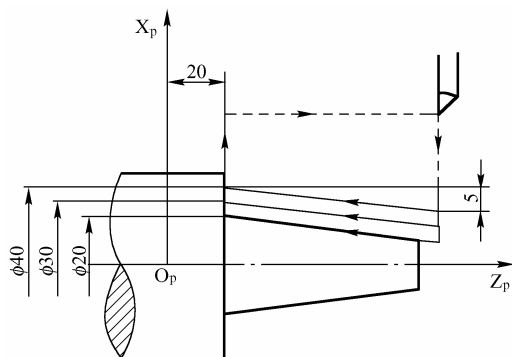


图 2.52 锥面切削循环应用

(7) 端面切削单一循环指令 (G94)。

指令格式: G94 X(U) _ Z(W) _ R_ F_

指令功能: 实现端面切削循环和带锥度的端面切削循环, 刀具从循环起点, 按图 2.53 与图 2.54 所示走刀路线, 最后返回到循环起点, 图中虚线表示按 R 快速移动, 实线按指定的进给速度 F 移动。

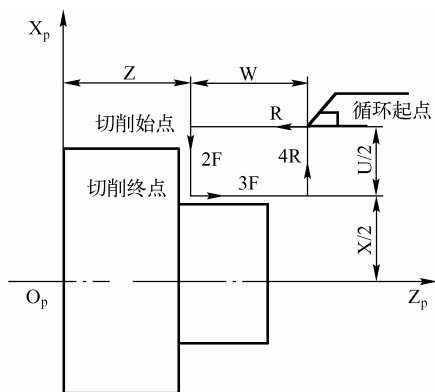


图 2.53 端面切削循环

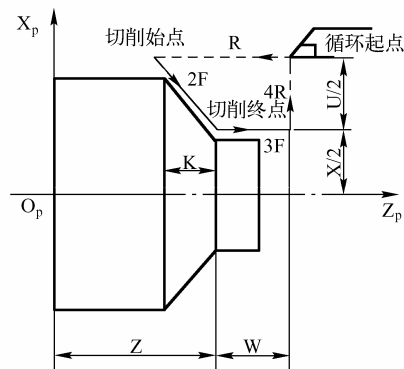


图 2.54 带锥度的端面切削循环

指令说明:

X、Z 表示端平面切削终点坐标值;

U、W 表示端面切削终点相对循环起点的坐标分量;

R 表示端面切削始点至切削终点位移在 Z 轴方向的坐标增量, 端面切削循环时 R 为零, 可省略;

F 表示进给速度。

例 2-11 如图 2.55 所示, 运用端面切削循环指令编程。

解: 程序如下:

G94 X20 Z16 F30

Z13

A→B-C-D→A

A-E-F-D→A

例 2-12 如图 2.56 所示，运用带锥度端面切削循环指令编程。

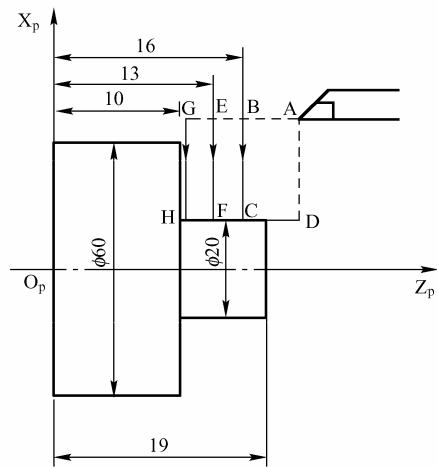


图 2.55 端面切削循环应用

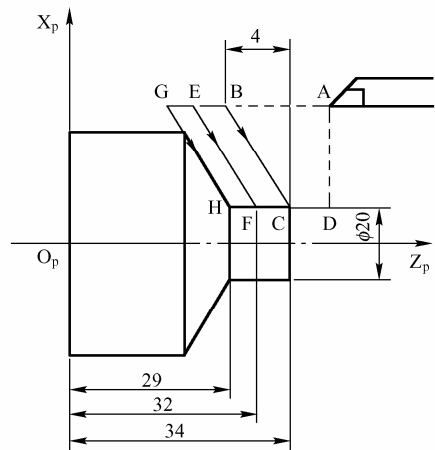


图 2.56 带锥度的端面切削循环应用

解：程序如下：

G94 X20 Z34 R-4 F30	A→B-C-D→A
Z32	A-E-F-D→A
Z29	A-G-H-D→A

(8) 螺纹切削单一循环指令 (G92)。

指令格式：G92 X (U) _ Z (W) _ R _ F _

指令功能：切削圆柱螺纹和锥螺纹，刀具从循环起点，按图 2.57 与图 2.58 所示走刀路线，最后返回到循环起点，图中虚线表示按 R 快速移动，实线按指定的进给速度 F 移动。

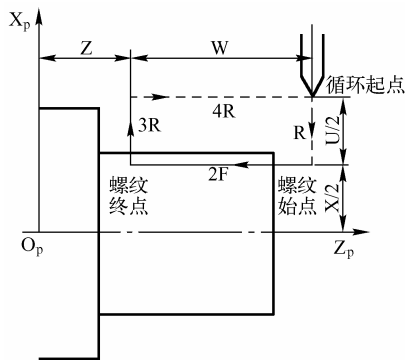


图 2.57 切削圆柱螺纹

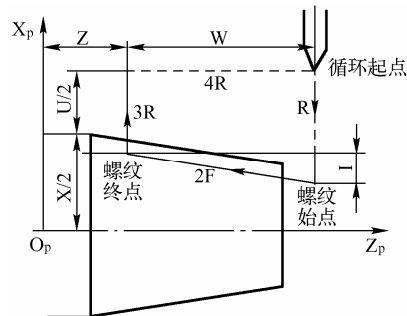


图 2.58 切削锥螺纹

指令说明：

X、Z 表示螺纹终点坐标值；

U、W 表示螺纹终点相对循环起点的坐标分量；

R 表示锥螺纹始点与终点在 X 轴方向的坐标增量（半径值），圆柱螺纹切削循环时 R 为

零，可省略；
F 表示螺纹导程。

例 2-13 如图 2.59 所示，运用圆柱螺纹切削循环指令编程。

解：程序如下：

```
G50 X100 Z50
G97 S300
T0101 M03
G00 X35 Z3
G92 X29.2 Z-21 F1.5
X28.6
X28.2
X28.04
G00 X100 Z50 T0000 M05
M02
```

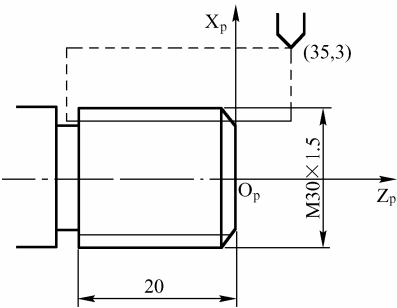


图 2.59 圆柱螺纹切削循环应用

例 2-14 如图 2.60 所示，运用锥螺纹切削循环指令编程。

解：程序如下：

```
G50 X100 Z50
G97 S300
T0101 M03
G00 X80 Z2
G92 X49.6 Z-48 R-5 F2
X48.7
X48.1
X47.5
X47.1
X47
G00 X100 Z50 T0000 M05
M02
```

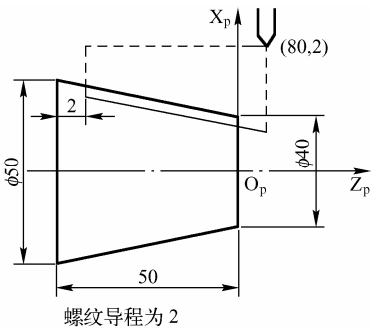


图 2.60 锥螺纹切削循环应用

(9) 外圆粗加工多重复合循环 (G71)。

指令格式：G71 U Δd Re

G71 Pns Qnf U Δu W Δw Ff Ss Tt

指令功能：切除棒料毛坯大部分加工余量，切削沿平行 Z 轴方向进行，如图 2.61 所示，A 为循环起点，A→A'→B 为精加工路线。

指令说明：

- Δd 表示每次切削深度（半径值），无正负号；
- e 表示退刀量（半径值），无正负号；
- ns 表示精加工路线第一个程序段的顺序号；
- nf 表示精加工路线最后一个程序段的顺序号；
- Δu 表示 X 方向的精加工余量，直径值；

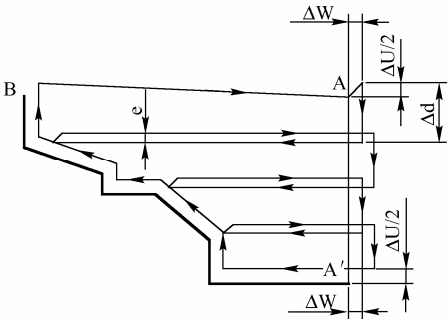


图 2.61 外圆粗加工循环

Δw 表示 Z 方向的精加工余量。

使用循环指令编程，首先要确定换刀点、循环点 A、切削始点 A' 和切削终点 B 的坐标位置。为节省数控机床的辅助工作时间，从换刀点至循环点 A 使用 G00 快速定位指令，循环点 A 的 X 坐标位于毛坯尺寸之外，Z 坐标值与切削始点 A' 的 Z 坐标值相同。

其次，按照外圆粗加工循环的指令格式和加工工艺要求写出 G71 指令程序段，在循环指令中有两个地址符 U，前一个表示背吃刀量，后一个表示 X 方向的精加工余量。在程序段中有 P、Q 地址符，则地址符 U 表示 X 方向的精加工余量，反之表示背吃刀量。背吃刀量无负值。

A' → B 是工件的轮廓线，A → A' → B 为精加工路线，粗加工时刀具从 A 点后退 $\Delta u/2$ 、 Δw ，即自动留出精加工余量。顺序号 ns 至 nf 之间的程序段描述刀具切削加工的路线。

例 2-15 如图 2.62 所示，运用外圆粗加工循环指令编程。

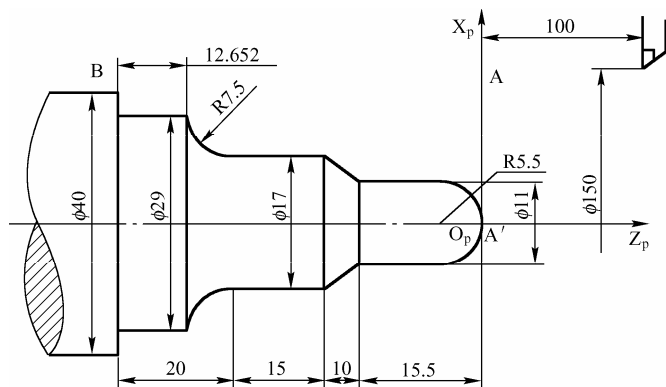


图 2.62 外圆粗加工循环应用

解：程序如下：

```
N010 G50 X150 Z100
N020 G00 X41 Z0
N030 G71 U2 R1
N040 G71 P50 Q120 U0.5 W0.2 F100
N050 G01 X0 Z0
N060 G03 X11 W-5.5 R5.5
N070 G01 W-10
N080 X17 W-10
N090 W-15
N100 G02 X29 W-7.348 R7.5
N110 G01 W-12.652
N120 X41
N130 G70 P50 Q120 F30
```

(10) 端面粗加工多重复合循环 (G72)。

指令格式：G72 W Δd R e

G72 P ns Q nf U Δu W Δw F f S s T t

指令功能：除切削是沿平行 X 轴方向进行外，该指令功能与 G71 相同，如图 2.63 所示。

指令说明： Δd 、 e 、 ns 、 nf 、 Δu 、 Δw 的含义与 G71 相同。

例 2-16 如图 2.64 所示，运用端面粗加工循环指令编程。

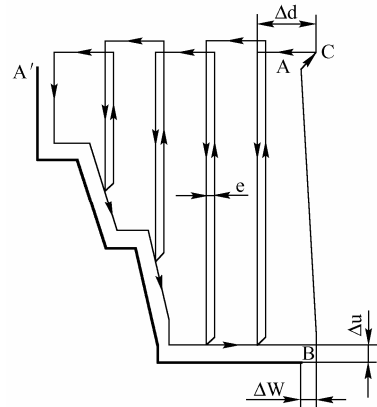


图 2.63 端面粗加工循环

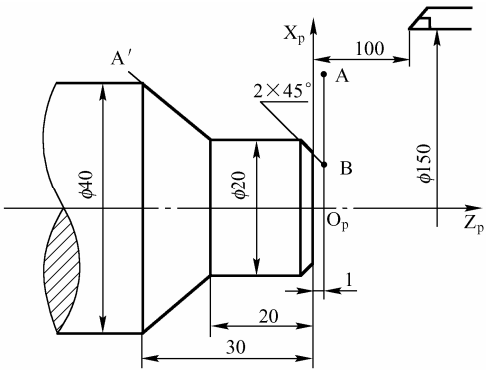


图 2.64 端面粗加工循环应用

解：程序如下：

```
N010 G50 X150 Z100
N020 G00 X41 Z1
N030 G72 W1 R1
N040 G72 P50 Q80 U0.1 W0.2 F100
N050 G00 X41 Z-31
N060 G01 X20 Z-20
N070 Z-2
N080 X14 Z1
N090 G70 P50 Q80 F30
```

(11) 固定形状切削多重复合循环 (G73)。

指令格式：G73 U Δi W Δk R d

G73 P ns Q nf U Δu W Δw F f S s T t

指令功能：

适合加工铸造、锻造成形的一类工件，如图 2.65 所示。

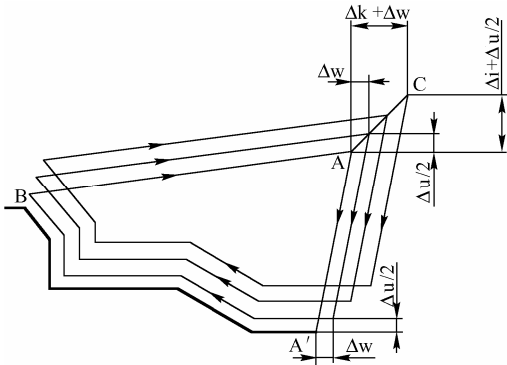


图 2.65 固定形状切削复合循环

指令说明:

Δi 表示 X 轴向总退刀量 (半径值);

Δk 表示 Z 轴向总退刀量;

d 表示循环次数;

ns 表示精加工路线第一个程序段的顺序号;

nf 表示精加工路线最后一个程序段的顺序号;

Δu 表示 X 方向的精加工余量 (直径值);

Δw 表示 Z 方向的精加工余量。

固定形状切削复合循环指令的特点: 刀具轨迹平行于工件的轮廓, 故适合加工铸造和锻造成形的坯料。背吃刀量分别通过 X 轴方向总退刀量 Δi 和 Z 轴方向总退刀量 Δk 除以循环次数 d 求得。总退刀量 Δi 与 Δk 值的设定与工件的切削深度有关。

使用固定形状切削复合循环指令, 首先要确定换刀点、循环点 A、切削始点 A' 和切削终点 B 的坐标位置。分析例 16, A 点为循环点, A' → B 是工件的轮廓线, A → A' → B 为刀具的精加工路线, 粗加工时刀具从 A 点后退至 C 点, 后退距离分别为 $\Delta i + \Delta u/2$, $\Delta k + \Delta w$, 这样粗加工循环之后自动留出精加工余量 $\Delta u/2$ 、 Δw 。

顺序号 ns 至 nf 之间的程序段描述刀具切削加工的路线。

例 2-17 如图 2.66 所示, 运用固定形状切削复合循环指令编程。

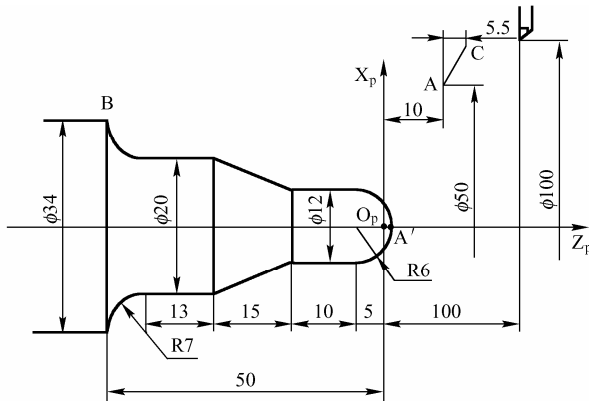


图 2.66 固定形状切削复合循环应用

解: 程序如下:

```
N010 G50 X100 Z100
N020 G00 X50 Z10
N030 G73 U18 W5 R10
N040 G73 P50 Q100 U0.5 W0.5 F100
N050 G01 X0 Z1
N060 G03 X12 W-6 R6
N070 G01 W-10
N080 X20 W-15
N090 W-13
N100 G02 X34 W-7 R7
```

(12) 精加工多重复合循环 (G70)。

指令格式: **G70 P_{ns} Q_{nf}**

指令功能: 用 G71、G72、G73 指令粗加工完毕后, 可用精加工循环指令, 使刀具进行 $A \rightarrow A' \rightarrow B$ 的精加工。

指令说明:

ns 表示指定精加工路线第一个程序段的顺序号;

nf 表示指定精加工路线最后一个程序段的顺序号;

G70~G73 循环指令调用 N(ns)至 N(nf)之间程序段, 其中程序段中不能调用子程序。

(13) 端面钻孔多重复合循环指令 (G74)。

指令格式: **G74 R_e**

G74 X(U) _ Z(W) _ P Δi Q Δk R Δd F_f

指令功能: 可以用于断续切削, 走刀路线如图 2.67 所示, 如把 X(U) 和 P、R 值省略, 则可用于钻孔加工。

指令说明:

e 表示退刀量;

X 表示 B 点的 X 坐标值;

U 表示由 A 至 B 的增量坐标值;

Z 表示 C 点的 Z 坐标值;

W 表示由 A 至 C 的增量坐标值;

Δi 表示 X 轴方向移动量, 无正负号;

Δk 表示 Z 轴方向移动量, 无正负号;

Δd 表示在切削底部刀具退回量;

F 表示进给速度。

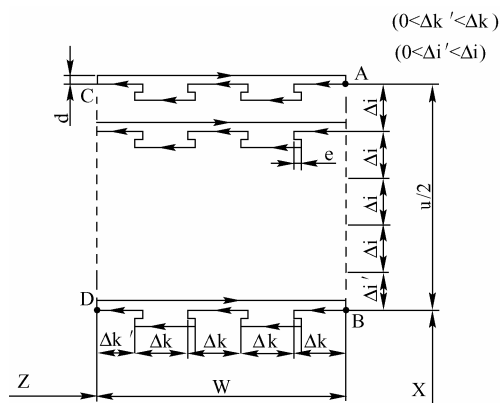


图 2.67 端面钻孔复合循环

例 2-18 如图 2.68 所示, 运用端面钻孔复合循环指令编程。

解: 程序如下:

```
G50 X60 Z40
G00 X0 Z2
G74 R1
G74 Z-12 Q5 F30 S250
G00 X60 Z40
```

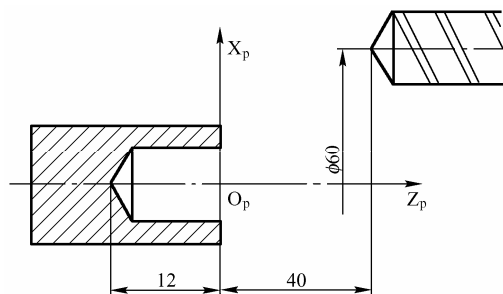


图 2.68 端面钻孔复合循环应用

(14) 外圆切槽复合循环 (G75)。

指令格式: **G75 R_e**

G75 X(U) _ Z(W) _ P Δi Q Δk R Δd F_f

指令功能: 用于端面断续切削, 走刀路线如图 2.69 所示, 如把 Z(W) 和 Q、R 值省略, 则可用于外圆槽的断续切削。

指令说明:

e 表示退刀量;

X 表示 C 点的 X 坐标值；
 U 表示由 A 点至 C 点的增量坐标值；

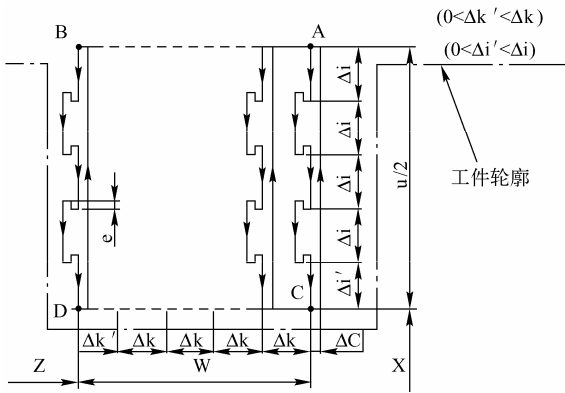


图 2.69 外圆切槽复合循环

Z 表示 B 点的 Z 坐标值；
 W 表示由 A 点至 B 点的增量坐标值；
 其他各符号的意义与 G74 相同。

应用外圆切槽复合循环指令，如果使用的刀具为切槽刀，该刀具具有两个刀尖，设定左刀尖为该刀具的刀位点，在编程之前先要设定刀具的循环起点 A 和目标点 D，如果工件槽宽大于切槽刀的刃宽，则要考虑刀刃轨迹的重叠量，使刀具在 Z 轴方向位移量 Δk 小于切槽刀的刃宽，切槽刀的刃宽与刀尖位移量 Δk 之差为刀刃轨迹的重叠量。

例 2-19 如图 2.70 所示，运用外圆切槽复合循环指令编程。
 解：程序如下：

```
G50 X60 Z70
G00 X42 Z22 S400
G75 R1
G75 X30 Z10 P3 Q2.9 F30
G00 X60 Z70
```

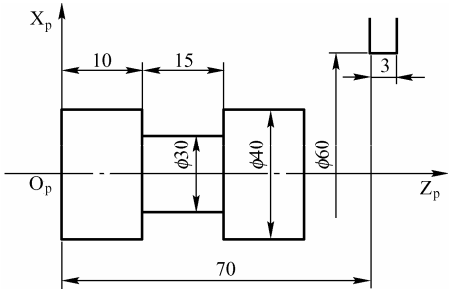


图 2.70 外圆切槽复合循环应用

(15) 螺纹切削复合循环 (G76)。

指令格式: **G76 Pm r a Q Δdmin Rd**
G76 X (U) _ Z (W) _ Ri Pk Q Δd Ff

指令功能：该螺纹切削循环的工艺性比较合理，编程效率较高，螺纹切削循环路线及进刀方法如图 2.71 所示。

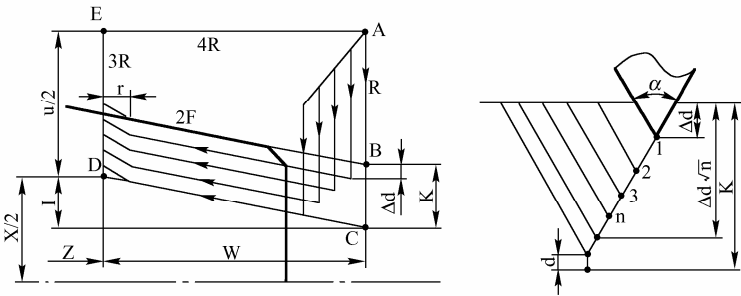


图 2.71 螺纹切削复合循环路线及进刀法

指令说明：
 m 表示精加工重复次数；
 r 表示斜向退刀量单位数 (0.01~9.9f, 以 0.1f 为一单位，用 00~99 两位数字指定)；

a 表示刀尖角度;

Δd 表示第一次粗切深 (半径值);

切削深度递减公式计算: $d_2 = \sqrt{2} \Delta d$

$d_3 = \sqrt{3} \Delta d$

$d_n = \sqrt{n} \Delta d$

每次粗切深: $\Delta d_n = \sqrt{n} \Delta d - \sqrt{n-1} \Delta d$;

Δd_{\min} 表示最小切削深度, 当切削深度 Δd_n 小于 Δd_{\min} , 则取 Δd_{\min} 作为切削深度;

X 表示 D 点的 X 坐标值;

U 表示由 A 点至 D 点的增量坐标值;

Z 表示 D 点 Z 坐标值;

W 表示由 C 点至 D 点的增量坐标值;

i 表示锥螺纹的半径差;

k 表示螺纹高度 (X 方向半径值);

d 表示精加工余量;

F 表示螺纹导程。

例 2-20 如图 2.72 所示, 运用螺纹切削复合循环指令编程 (精加工次数为 1 次, 斜向退刀量为 4 mm, 刀尖为 60° , 最小切深取 0.1 mm, 精加工余量取 0.1 mm, 螺纹高度为 2.4 mm, 第一次切深取 0.7 mm, 螺距为 4 mm, 螺纹小径为 33.8 mm)。

解: 程序如下:

```
G00 X60 Z10  
G76 P011060 Q0.1 R0.1  
G76 X33.8 Z-60 R0 P2.4 Q0.7 F4
```

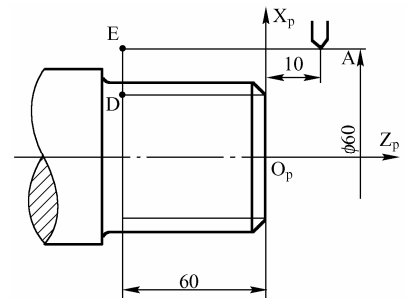


图 2.72 螺纹切削复合循环应用

2.8.3 刀尖圆弧半径补偿

1. 刀尖圆弧半径补偿的目的

数控机床是按假想刀尖运动位置进行编程, 如图 2.73 所示的 A 点, 实际刀尖部位是一个小圆弧, 切削点是刀尖圆弧与工件的切点, 如图 2.74 所示, 在车削圆柱面和端面时, 切削刀刀轨迹与工件轮廓一致; 在车削锥面和圆弧时, 切削刀刀轨迹会引起工件表面的位置与形状误差 (图中 δ 值为加工圆锥面时产生的加工误差值), 直接影响工件的加工精度。

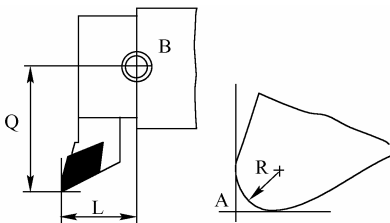


图 2.73 刀尖与刀尖圆弧

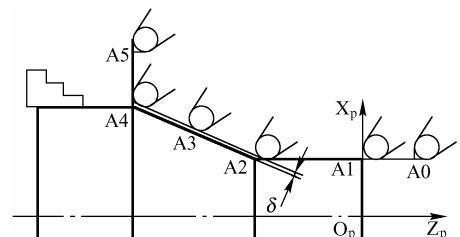


图 2.74 假想刀尖的加工误差

如果采用刀尖圆弧半径补偿方法,如图 2.75 所示,把刀尖圆弧半径和刀尖圆弧位置等参数输入刀具数据库内,这样我们可以按工件轮廓编程,数控系统自动计算刀心轨迹,控制刀心轨迹进行切削加工,如图 2.76 所示,这样通过刀尖圆弧半径补偿的方法消除了由刀尖圆弧而引起的加工误差。

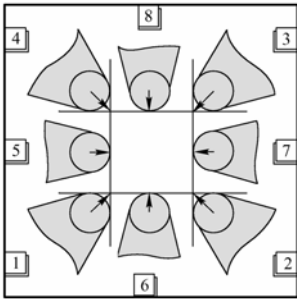


图 2.75 刀尖圆弧位置

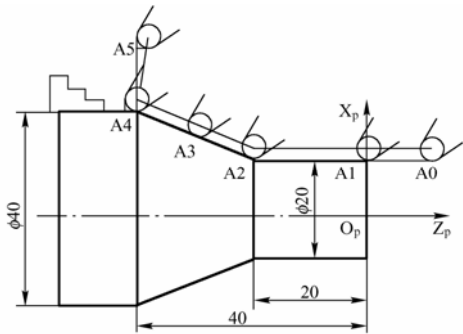


图 2.76 刀尖圆弧半径补偿

2. 刀尖圆弧半径补偿指令

指令格式: G41 (G42、G40) G01 (G00) X (U) _ Z (W) _

指令功能: G41 为刀尖圆弧半径左补偿;
G42 为刀尖圆弧半径右补偿;
G40 为取消刀尖圆弧半径补偿。

指令说明:

顺着刀具运动方向看,刀具在工件的左边为刀尖圆弧半径左补偿;刀具在工件的右边为刀尖圆弧半径右补偿。只有通过刀具的直线运动才能建立和取消刀尖圆弧半径补偿。

例 2-21 如图 2.76 所示,运用刀尖圆弧半径补偿指令编程。

解: 程序如下:

G00 X20 Z2	快进至 A0 点
G42 G01 X20 Z0	刀尖圆弧半径右补偿 A0-A1
Z-20	A1→A2
X40 Z-40	A2→A3→A4
G40 G01 X80 Z-40	退刀并取消刀尖圆弧半径补偿 A4-A5

2.9 数控铣床基本指令

数控铣床主要能铣削平面、沟槽和曲面,还能加工复杂的型腔和凸台。数控铣床主轴安装铣削刀具,在加工程序控制下,安装工件的工作台沿着 X、Y、Z 轴的方向运动,通过不断改变铣削刀具与工件之间的相对位置,加工出符合图纸要求的工件。由于数控铣床配置的数控系统不同,使用的指令在定义和功能上有一定的差异,但其基本功能和编程方法还是相同的。

2.9.1 数控铣床编程基础

1. 数控铣床的主要功能

(1) 点位控制功能。数控铣床的点位控制主要用于工件的孔加工，如中心钻定位、钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和各种孔加工操作。

(2) 连续控制功能。通过数控铣床的直线插补、圆弧插补或复杂的曲线插补运动，铣削加工工件的平面和曲面。

(3) 刀具半径补偿功能。如果直接按工件轮廓线编程，在加工工件内轮廓时，实际轮廓线将大了一个刀具半径值；在加工工件外轮廓时，实际轮廓线又小了一个刀具半径值。使用刀具半径补偿的方法，数控系统自动计算刀具中心轨迹，使刀具中心偏离工件轮廓一个刀具半径值，从而加工出符合图纸要求的轮廓。利用刀具半径补偿的功能，改变刀具半径补偿量，还可以补偿刀具磨损量和加工误差，实现对工件的粗加工和精加工。

(4) 刀具长度补偿功能。改变刀具长度的补偿量，可以补偿刀具换刀后的长度偏差值，还可以改变切削加工的平面位置，控制刀具的轴向定位精度。

(5) 固定循环加工功能。应用固定循环加工指令，可以简化加工程序，减少编程的工作量。

(6) 子程序功能。加工工件形状相同或相似部分时，把加工程序编写成子程序，由主程序调用，这样简化程序结构。

2. 数控铣床加工范围

(1) 平面加工。数控机床铣削平面可以分为对工件的水平面（XY）加工，对工件的正平面（XZ）加工和对工件的侧平面（YZ）加工。只要使用两轴半控制的数控铣床就能完成这样平面的铣削加工。

(2) 曲面加工。如果铣削复杂的曲面则需要使用三轴甚至更多轴联动的数控铣床。

3. 数控铣床的装备

(1) 夹具。数控铣床的通用夹具主要有平口钳、磁性吸盘和压板装置。对于加工中、大批量或形状复杂的工件则要设计组合夹具，如果使用气动和液压夹具，通过程序控制夹具，实现对工件的自动装卸，则能进一步提高工作效率和降低劳动强度。

(2) 刀具。常用的铣削刀具有立铣刀、端面铣刀、成形铣刀和孔加工刀具。

2.9.2 数控铣床基本指令

1. 设定工件坐标系G92 指令

指令格式：G92 X__ Y__ Z__

指令功能：设定工件坐标系。

指令说明：

在机床上建立工件坐标系（也称编程坐标系）；

如图 2.77 所示，坐标值 X、Y、Z 为刀具刀位点在工件坐标系中的坐标值（也称起刀点或换刀点）；

操作者必须于工件安装后检查或调整刀具刀位点，以确保机床上设定的工件坐标系与编程时在零件上所规定的工件坐标系在位置上重合一致；

对于尺寸较复杂的工件，为了计算简单，在编程中可以任意改变工件坐标系的程序零点。

在数控铣床中有两种设定工件坐标系的方法，一种方法如图 2.77 所示，先确定刀具的换刀点位置，然后由 G92 指令根据换刀点位置设定工件坐标系的原点，G92 指令中 X、Y、Z 坐标表示换刀点在工件坐标系 $X_pY_pZ_p$ 中的坐标值；另一种方法如图 2.78 所示，通过与机床坐标系 XYZ 的相对位置建立工件坐标系 $X_pY_pZ_p$ ，如有的数控系统用 G54 指令的 X、Y、Z 坐标表示工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

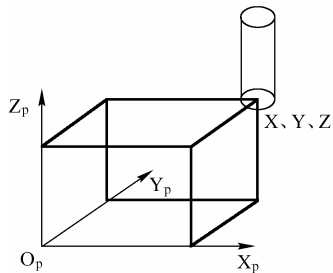


图 2.77 G92 设定工件坐标系

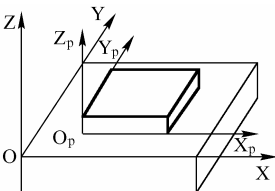


图 2.78 G54 设定工件坐标系

2. 绝对坐标输入方式G90 指令和增量坐标输入方式G91 指令

指令格式：G90

G91

指令功能：设定坐标输入方式。

指令说明：

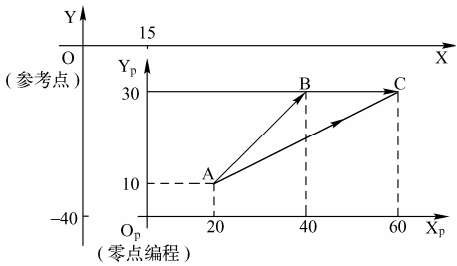


图 2.79 快速定位

G90 指令建立绝对坐标输入方式，移动指令目标点的坐标值 X、Y、Z 表示刀具离开工件坐标系原点的距离；

G91 指令建立增量坐标输入方式，移动指令目标点的坐标值 X、Y、Z 表示刀具离开当前点的坐标增量。

例 2-22 如图 2.79 所示，刀具从 A 点快速移动至 C 点，使用绝对坐标与增量坐标方式编程。

解：绝对坐标编程：

G92 X0 Y0 Z0	设工件坐标系原点，换刀点 O 与机床坐标系原点重合
G90 G00 X15 Y-40	刀具快速移动至 Op 点
G92 X0 Y0	重新设定工件坐标系，换刀点 Op 与工件坐标系原点重合
G00 X20 Y10	刀具快速移动至 A 点定位
X60 Y30	刀具从始点 A 快移至终点 C

增量坐标编程：

```
G92  X0  Y0  Z0
G91  G00  X15  Y-40
G92  X0  Y0
G00  X20  Y10
X40  Y20
```

在例 2-22 中，刀具从 A 点移动至 C 点，若机床指定的 X 轴和 Y 轴的快速移动速度是相等的，则刀具实际运动轨迹为一折线，即刀具从始点 A 按 X 轴与 Y 轴的合成速度移动至点 B，然后再沿 X 轴移动至终点 C。

3. 插补平面选择G17、G18、G19 指令

指令格式：G17

G18

G19

指令功能：表示选择的插补平面。

指令说明：

G17 表示选择 XY 平面；

G18 表示选择 ZX 平面；

G19 表示选择 YZ 平面。

4. 暂停G04 指令

指令格式：

$$G04 \begin{cases} X_ \\ P_ \end{cases}$$

指令功能：刀具作短暂的无进给光整加工。

指令说明：

地址码 X 可用小数，单位为 s；

地址码 P 只能用整数，单位为 ms。

5. 自动返回参考点G28 指令

指令格式：G28 X__ Y__ Z__

指令功能：刀具经指定的中间点快速返回参考点。

指令说明：

坐标值 X__ Y__ Z__ 为中间点坐标；

刀具返回参考点时避免与工件或夹具发生干涉；

通常 G28 指令用于返回参考点后自动换刀，执行该指令前必须取消刀具半径补偿和刀具长度补偿。

G28 指令的功能是刀具经过中间点快速返回参考点，指令中参考点的含义，如果没有设

定换刀点，那么参考点指的是回零点，即刀具返回至机床的极限位置；如果设定了换刀点，那么参考点指的是换刀点，通过返回参考点能消除刀具在运行过程中的插补累积误差。指令中设置中间点的意义是设定刀具返回参考点的走刀路线。例如，G91 G28 X0 Z0，表示刀具先从 Y 轴的方向返回至 Y 轴的参考点位置，然后从 X 轴的方向返回至 X 轴的参考点位置，最后从 Z 轴的方向返回至 Z 轴的参考点位置。

6. 从参考点移动至目标点G29 指令

指令格式：G29 X__ Y__ Z__

指令功能：刀具从参考点经过指定的中间点快速移动到目标点。

指令说明：返回参考点后执行该指令，刀具从参考点出发，以快速点定位的方式，经过由 G28 所指定的中间点到达由坐标值 X__ Y__ Z__ 所指定的目标点位置；

X__ Y__ Z__ 表示目标点坐标值，G90 指令表示目标点为绝对值坐标方式，G91 指令表示目标点为增量值坐标方式，则表示目标点相对于 G28 中间点的增量；

如果在 G29 指令前，没有 G28 指令设定中间点，执行 G29 指令时，则以工件坐标系零点作为中间点。

例 2-23 如图 2.80 所示，刀具从 A 点经过中间点 B 返回参考点 R，换刀后再经过中间点 B 到 C 点定位，使用绝对坐标与增量坐标方式编程。

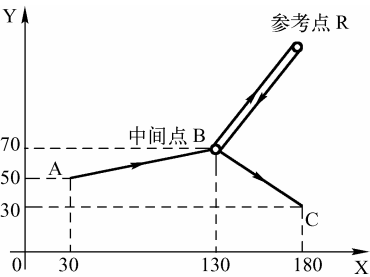


图 2.80 自动返回参考点

用绝对坐标与增量坐标方式编程。

解：绝对坐标编程：

G90 G28 X130 Y70	当前点 A→B→R
M06	换刀
G29 X180 Y30	参考点 R→B→C

增量坐标编程：

G91 G28 X100 Y20
M06
G29 X50 Y-40

若程序中无 G28 指令，则程序段

G90 G29 X180 Y30 进给路线为 A→O→C

7. 刀具半径补偿G41、G42 指令

指令格式：

$\left\{ \begin{matrix} G41 \\ G42 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} G00 \\ G01 \end{matrix} \right\} X_ Y_ H(或D)_$

指令功能：数控系统根据工件轮廓和刀具半径自动计算刀具中心轨迹，控制刀具沿刀具中心轨迹移动，加工出所需要的工件轮廓，编程时避免计算复杂的刀心

轨迹。

指令说明：

X_ Y_ 表示刀具移动至工件轮廓上点的坐标值；

H (或 D)_ 刀具半径补偿寄存器地址符，寄存器存储刀具半径补偿值；

如图 2.81(a)所示，沿刀具进刀方向看，刀具中心在零件轮廓左侧，则为刀具半径左补偿，用 G41 指令；

如图 2.81(b)所示，沿刀具进刀方向看，刀具中心在零件轮廓右侧，则为刀具半径右补偿，用 G42 指令；

通过 G00 或 G01 运动指令建立刀具半径补偿。

例 2-24 如图 2.82 所示，刀具由 O 点至 A 点，采用刀具半径左补偿指令 G41 后，刀具将在直线插补过程中向左偏置一个半径值，使刀具中心移动到 B 点，其程序段为：

```
G41 G01 X50 Y40 F100 H01
```

H01 为刀具半径偏置代码，偏置量（刀具半径）预先寄存在 H01 指令指定的寄存器中。

运用刀具半径补偿指令，通过调整刀具半径补偿值来补偿刀具的磨损量和重磨量，如图 2.83 所示， r_1 为新刀具的半径， r_2 为磨损后刀具的半径。此外运用刀具半径补偿指令，还可以实现使用同一把刀具对工件进行粗、精加工，如图 2.84 所示，粗加工时刀具半径 r_1 为 $r + \Delta$ ，精加工时刀具半径补偿值为 r_2 为 r ，其中 Δ 为精加工余量。

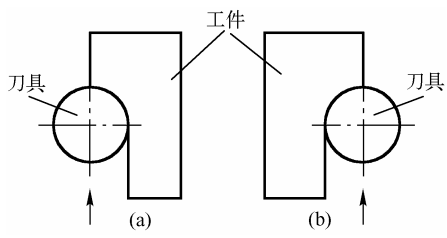


图 2.81 刀具半径补偿位置判断

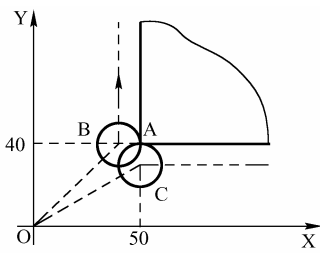


图 2.82 刀具半径补偿过程

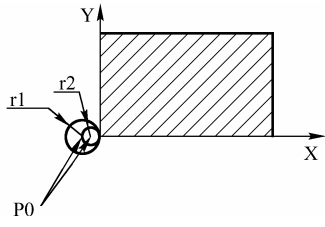


图 2.83 刀具磨损后的刀具半径补偿

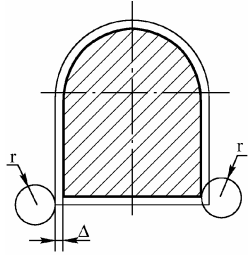


图 2.84 粗、精加工的刀具半径补偿

8. 取消刀具半径补偿G40 指令

指令格式：

```
{ G00 }  
{ G01 } G40 X_ Y_
```

指令功能：取消刀具半径补偿。

指令说明:

指令中的 X__ Y__ 表示刀具轨迹中取消刀具半径补偿点的坐标值;

通过 G00 或 G01 运动指令取消刀具半径补偿;

G40 必须和 G41 或 G42 成对使用。

例 2-25 图 2.82, 当刀具以半径左补偿 G41 指令加工完工件后, 通过图中 CO 段取消刀具半径补偿。

解: 其程序段为:

G40 G00 X0 Y0

9. 刀具长度补偿G43、G44、G49 指令

指令格式:

G43 } Z_ H_
G44 }

G49

指令功能: 对刀具的长度进行补偿。

指令说明:

G43 指令为刀具长度正补偿;

G44 指令为刀具长度负补偿;

G49 指令为取消刀具长度补偿;

刀具长度补偿指刀具在 Z 方向的实际位移比程序给定值增加或减少一个偏置值;

格式中的 Z 值是指程序中的指令值;

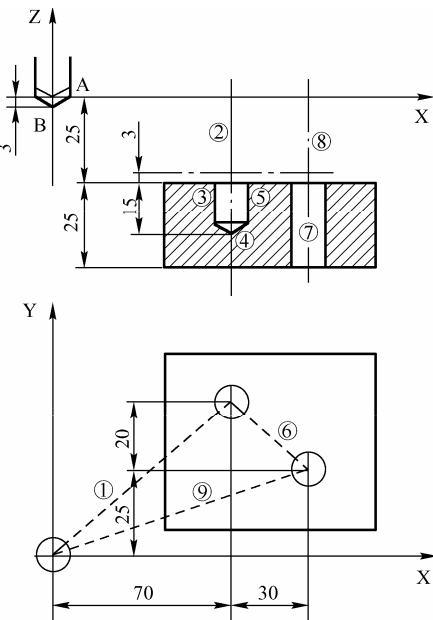


图 2.85 刀具长度补偿

H 为刀具长度补偿代码, 后面两位数字是刀具长度补偿寄存器的地址符。H01 指 01 号寄存器, 在该寄存器中存放对应刀具长度的补偿值。H00 寄存器必须设置刀具长度补偿值为 0, 调用时起取消刀具长度补偿的作用, 其余寄存器存放刀具长度补偿值。

执行 G43 指令时: $Z_{\text{实际值}} = Z_{\text{指令值}} + H_{\text{偏置值}}$

执行 G44 指令时: $Z_{\text{实际值}} = Z_{\text{指令值}} - H_{\text{偏置值}}$

例 2-26 如图 2.85 所示, 图中 A 点为刀具起点, 加工路线为 1→2→3→4→5→6→7→8→9。要求刀具在工件坐标系零点 Z 轴方向向下偏移 3 mm, 按增量坐标值方式编程(提示把偏置量 3 mm 存入地址为 H01 的寄存器中)。

解: 程序如下:

```
N01 G91 G00 X70 Y45 S800 M03  
N02 G43 Z-22 H01  
N03 G01 G01 Z-18 F100 M08
```

```
N04 G04 X5
N05 G00 Z18
N06 X30 Y-20
N07 G01 Z-33 F100
N08 G00 G49 Z55 M09
N09 X-100 Y-25
N10 M30
```

10. 孔加工固定循环指令

(1) 孔加工固定循环的运动与动作。对工件孔加工时，根据刀具的运动位置可以分为四个平面：初始平面、R 平面、工件平面和孔底平面，如图 2.86 所示。在孔加工过程中，刀具的运动由 6 个动作组成。

- 动作 1：快速定位至初始点

动作 2：快速定位至 R 点

动作 3：孔加工

动作 4：在孔底的相应动作

动作 5：返回到 R 点

动作 6：快速返回到初始点
- X, Y 表示了初始点在初始平面中的位置；

刀具自初始点快速进给到 R 点；

以切削进给的方式执行孔加工的动作；

包括暂停、主轴准停、刀具移位等动作；

继续孔加工时刀具返回到 R 点平面；

孔加工完成后返回初始点平面。

为了保证孔加工的加工质量，有的孔加工固定循环指令需要主轴准停、刀具移位。图 2.87 表示了在孔加工固定循环中刀具的运动与动作，图中的虚线表示快速进给，实线表示切削进给。

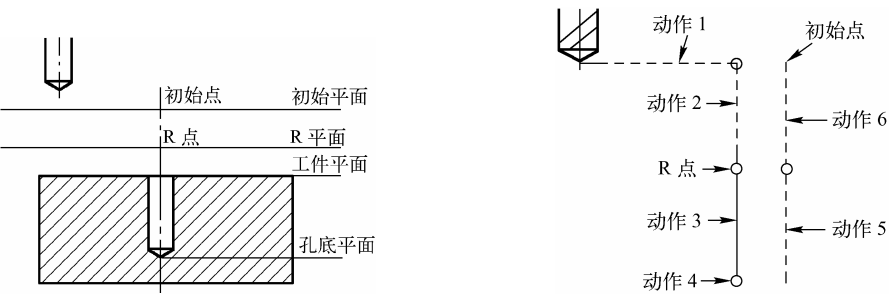


图 2.86 孔加工循环的平面

图 2.87 固定循环的动作

- ① 初始平面。初始平面是为了安全操作而设定的定位刀具的平面。初始平面到零件表面的距离可以任意设定。若使用同一把刀具加工若干个孔，当孔间存在障碍需要跳跃或全部孔加工完成时，用 G98 指令使刀具返回到初始平面，否则，在中间加工过程中可用 G99 指令使刀具返回到 R 点平面，这样缩短加工辅助时间。

② R 点平面。R 点平面又叫 R 参考平面。这个平面表示刀具从快进转为工进的转折位置，R 点平面距工件表面的距离主要考虑工件表面形状的变化，一般可取 2~5 mm。

③ 孔底平面。Z 表示孔底平面的位置，加工通孔时刀具伸出工件孔底平面一段距离，保证通孔全部加工到位，钻削盲孔时应考虑钻头钻尖对孔深的影响。

(2) 选择加工平面及孔加工轴线。选择加工平面有 G17、G18 和 G19 三条指令，对应

XY、XZ 和 YZ 三个加工平面，以及对应孔加工轴线分别为 Z 轴、Y 轴和 X 轴。立式数控铣床孔加工时，只能在 XY 平面内使用 Z 轴作为孔加工轴线，与平面选择指令无关。下面主要讨论立式数控铣床孔加工固定循环指令。

(3) 孔加工固定循环指令格式。

指令格式：

$$\left\{ \begin{matrix} G90 \\ G91 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} G99 \\ G98 \end{matrix} \right\} G73\sim G89 \ X_Y_Z_R_Q_P_F_L_$$

指令功能：孔加工固定循环。

指令说明：

在 G90 或 G91 指令中，Z 坐标值有不同的定义；

G98、G99 为返回点平面选择指令，G98 指令表示刀具返回到初始点平面，G99 指令表示刀具返回到 R 点平面，如图 2.87 所示；

孔加工方式 G73~G89 指令，孔加工方式对应指令如表 2-16 所示；

表 2-16 固定循环功能表

G 代码	孔加工作 (−Z 方向)	孔 底 动 作	返回方式 (+Z 方向)	用 途
G73	间歇进给		快速进给	高速深孔往复排屑钻
G74	切削进给	暂停→主轴正转	切削进给	攻左旋螺纹
G76	切削进给	主轴定向停止→刀具移位	快速进给	精镗孔
G80				取消固定循环
G81	切削进给		快速进给	钻孔
G82	切削进给	暂停	快速进给	镗孔、镗阶梯孔
G83	间歇进给		快速进给	深孔往复排屑钻
G84	切削进给	暂停→主轴反转	切削进给	攻右旋螺纹
G85	切削进给		切削进给	精镗孔
G86	切削进给	主轴停止	快速进给	镗孔
G87	切削进给	主轴停止	快速进给	背镗孔
G88	切削进给	暂停→主轴停止	手动操作	镗孔
G89	切削进给	暂停	切削进给	精镗阶梯孔

X_Y_ 指定加工孔的位置，（与 G90 或 G91 指令的选择有关）；

Z_ 指定孔底平面的位置（与 G90 或 G91 指令的选择有关）；

R_ 指定 R 点平面的位置（与 G90 或 G91 指令的选择有关）；

Q_ 在 G73 或 G83 指令中定义每次进刀加工深度，在 G76 或 G87 指令中定义位移量，Q 值为增量值，与 G90 或 G91 指令的选择无关；

P_ 指定刀具在孔底的暂停时间，用整数表示，单位为 ms；

F_ 指定孔加工切削进给速度。该指令为模态指令，即使取消了固定循环，在其后的加工程序中仍然有效；

L_ 指定孔加工的重复加工次数，执行一次 L1 可以省略。如果程序中选 G90 指令，刀具

在原来孔的位置上重复加工，如果选择 G91 指令，则用一个程序段对分布在一条直线上的若干个等距孔进行加工。L 指令仅在被指定的程序段中有效。

G80 为取消孔加工固定循环指令，如果中间出现了任何 01 组的 G 代码，则孔加工固定循环自动取消。因此用 01 组的 G 代码取消孔加工固定循环，其效果与用 G80 指令是完全相同的。

如图 2.88(a)所示，选用绝对坐标方式 G90 指令，Z 表示孔底平面相对坐标原点的距离，R 表示 R 点平面相对坐标原点的距离；如图 2.95(b)所示，选用相对坐标方式 G91 指令，R 表示初始点平面至 R 点平面的距离，Z 表示 R 点平面至孔底平面的距离。

孔加工方式指令以及指令中 Z、R、Q、P 等指令都是模态指令，因此只要指定了这些指令，在后续的加工中不必重新设定。如果仅仅某一加工数据发生变化，仅修改需要变化的数据即可。

孔加工固定循环指令的应用：

N01 G91 G00 X_Y_ M03 主轴正转，按增量坐标方式快速点定位至指定位置；

N02 G81 X_Y_Z_F_ G81 为钻孔固定循环指令，指定固定循环原始数据；

N03 Y_ 钻削方式与 N02 相同，按 Y_ 移动后执行 N02 的钻孔动作；

N04 G82 X_P_L_ 移动 X_ 后执行 G82 钻孔固定循环指令，重复执行 L_ 次；

N05 G80 X_Y_ M05 取消孔加工固定循环，除 F 代码之外全部钻削数据被清除；

N06 G85 X_Z_R_P_ G85 为精镗孔固定循环指令，重新指定固定循环原始数据；

N07 X_Z_ 移动 X_ 后按 Z_ 坐标执行 G85 指令，前段 R_ 仍然有效。

N08 G89 X_Y_ 移动 X_Y_ 后执行 G89 指令，前段的 Z_ 及 N06 段的 R_P_ 仍有效。

N09 G01 X_Y_ 除 F_ 外，孔加工方式及孔加工数据全部被清除。

(4) 各种孔加工方式说明。

① 高速深孔往复排屑钻 G73 指令。孔加工动作如图 2.89(a)所示。G73 指令用于深孔钻削，Z 轴方向的间断进给有利于深孔加工过程中断屑与排屑。指令 Q 为每一次进给的加工深度（增量值且为正值），图示中退刀距离“d”由数控系统内部设定。

② 深孔往复排屑钻 G83 指令。孔加工动作如图 2.89(b)所示。与 G73 指令略有不同的是每次刀具间歇进给后回退至 R 点平面，这种退刀方式排屑畅通，此处的“d”表示刀具间歇进给每次下降时由快进转为工进的那一点至前一次切削进给下降的点之间的距离，“d”值由数控系统内部设定。由此可见这种钻削方式适宜加工深孔。

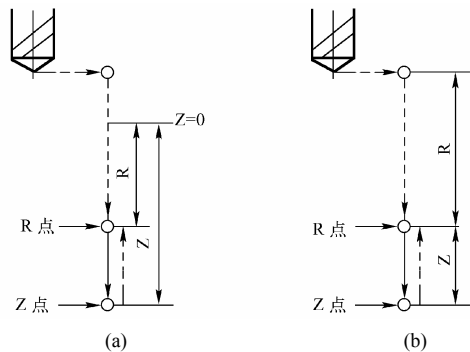


图 2.88 G90 与 G91 的坐标计算

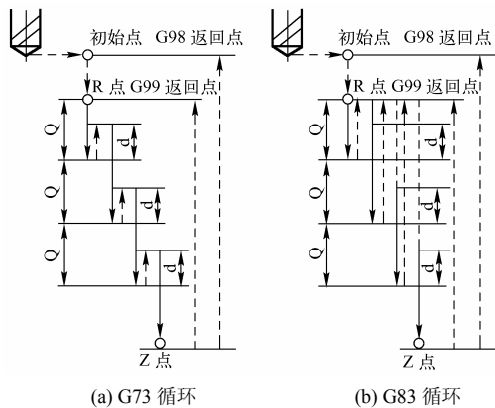


图 2.89 G73 循环与 G83 循环

③ 攻左旋螺纹 G74 指令与攻右旋螺纹 G84 指令。如图 2.90 所示，使用 G74 指令，主轴左旋攻螺纹，至孔底后正转返回，到 R 点平面后主轴又恢复反转。如果使用 G84 指令，主轴右旋攻螺纹，至孔底后反转返回，到 R 点平面后主轴又恢复正转。如果在程序段中暂停指令 P_有效，则在刀具到达孔底后先执行暂停动作，然后改变主轴转动方向后返回。

④ 精镗孔 G76 指令。孔加工动作如图 2.91 所示。图中 OSS 表示主轴暂停，Q 表示刀具移动量（规定为正值，若使用了负值则负号被忽略）。在孔底主轴定向停止后，刀头按地址 Q 所指定的偏移量移动，然后提刀，刀头的偏移量在 G76 指令中设定。采用这种镗孔方式可以高精度、高效率地完成孔加工而不损伤工件表面。

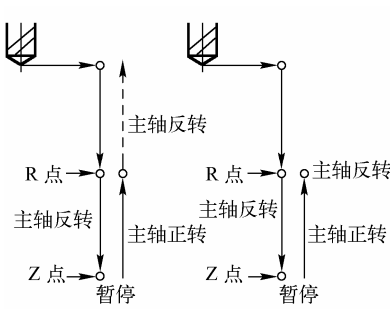


图 2.90 左螺纹加工

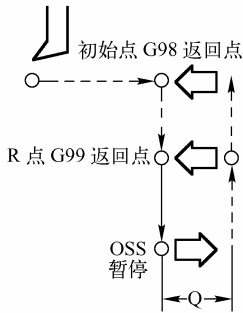


图 2.91 精镗孔

⑤ 钻孔 G81 指令与镗孔 G82 指令。如图 2.92 所示，G82 与 G81 指令相比较唯一不同之处是 G82 指令在孔底增加了暂停，因而适用于镗孔或镗阶梯孔，提高了孔台阶表面的加工质量，而 G81 指令只用于一般要求的钻孔。

⑥ 精镗孔 G85 指令与精镗阶梯孔 G89 指令。如图 2.93 所示，这两种孔加工方式，刀具以切削进给的方式加工到孔底，然后又以切削进给的方式返回 R 点平面，因此适用于精镗孔等情况，G89 指令在孔底增加了暂停，提高了阶梯孔台阶表面的加工质量。

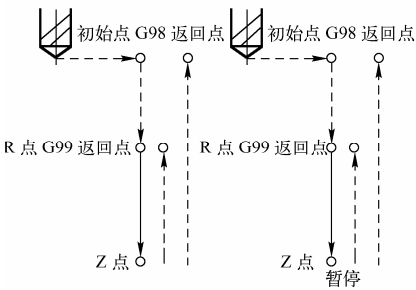


图 2.92 钻孔与镗孔

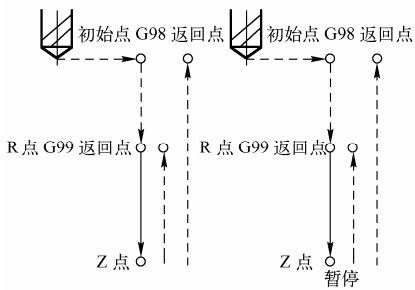


图 2.93 精镗孔与精镗阶梯孔

⑦ 镗孔 G86 指令。如图 2.94 所示，加工到孔底后主轴停止，返回初始平面或 R 点平面后，主轴再重新启动。采用这种方式，如果连续加工的孔间距较小，可能出现刀具已经定位到下一个孔加工的位置而主轴尚未到达指定的转速，为此可以在各孔动作之间加入暂停 G04 指令，使主轴获得指定的转速。

⑧ 背镗孔 G87 指令。如图 2.95 所示，X 轴和 Y 轴定位后，主轴停止，刀具以与刀尖相

反方向按指令 Q 设定的偏移量偏位移，并快速定位到孔底，在该位置刀具按原偏移量返回，然后主轴正转，沿 Z 轴正向加工到 Z 点，在此位置主轴再次停止后，刀具再次按原偏移量反向位移，然后主轴向上快速移动到达初始平面，并按原偏移量返回后主轴正转，继续执行下一个程序段。采用这种循环方式，刀具只能返回到初始平面而不能返回到 R 点平面。

⑨ 镗孔 G88 指令。如图 2.96 所示，刀具到达孔底后暂停，暂停结束后主轴停止且系统进入进给保持状态，在此情况下可以执行手动操作，但为了安全起见应先把刀具从孔中退出，再启动加工，按循环启动按钮，刀具快速返回到 R 点平面或初始点平面，然后主轴正转。

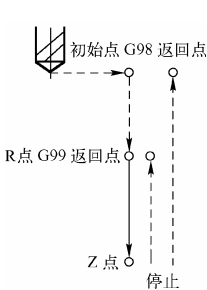


图 2.94 镗孔 G86 指令

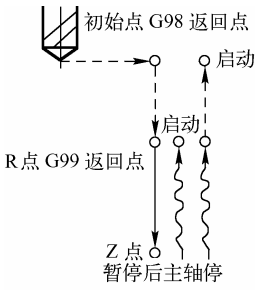


图 2.95 背镗孔

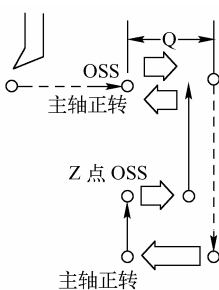


图 2.96 镗孔 G88 指令

(5) 重复固定循环简单应用

例 2-27 钻削如图 2.97 所示的四个孔。

解：加工程序为：

```
G90 G00 X20 Y10
G91 G98 G81 X10 Y5 Z-20 R-5 L5 F80
.....
```

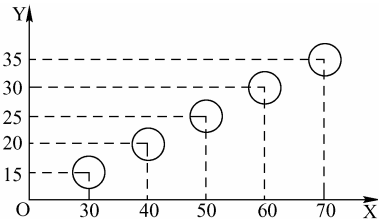


图 2.97 重复固定循环简单应用

当加工很多相同的孔时，应仔细分析孔的分布规律，合理使用重复固定循环，尽量简化编程。本例中各孔按等间距线性分布，可以使用重复固定循环加工，即用地址 L 规定重复次数。采用这种方式编程，在进入固定循环之前，刀具不能直接定位在第一个孔的位置，而应向前移动一个孔的位置。因为在执行固定循环时，刀具要先定位再执行钻孔动作。

11. 子程序指令

(1) 子程序的概念。在一个加工程序中，如果其中有些加工内容完全相同或相似，为了简化程序，可以把这些重复的程序段单独列出，并按一定的格式编写成子程序。主程序在执行过程中如果需要某一子程序，通过调用指令来调用该子程序，子程序执行完后又返回到主程序，继续执行后面的程序段。

① 子程序的嵌套。为了进一步简化程序，可以让子程序调用另一个子程序，这种程序的结构称为子程序嵌套。在编程中使用较多的是二重嵌套，其程序执行情况如图 2.98 所示。

② 子程序的应用。

a. 零件上若干处具有相同的轮廓形状。在这种情况下，只要编写一个加工该轮廓形状的

子程序，然后用主程序多次调用该子程序的方法，即可完成对工件的加工。

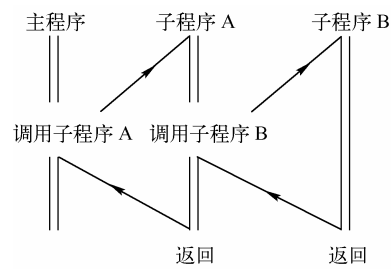


图 2.98 子程序的嵌套

b. 加工中反复出现具有相同轨迹的走刀路线。如果相同轨迹的走刀路线出现在某个加工区域或在这个区域的各个层面上，采用子程序编写加工程序比较方便，在程序中常用增量值确定切入深度。

c. 在加工较复杂的零件时，往往包含许多独立的工序，有时工序之间需要进行适当的调整，为了优化加工程序，把每一个独立的工序编成一个子程序，这样形成了模块式的程序结构，便于对加工顺序的调整，主程序中只有换刀和调用子程序等指令。

(2) 调用子程序M98 指令。

指令格式：M98 P__ ××××

指令功能：调用子程序。

指令说明：P__为要调用的子程序号。××××为重复调用子程序的次数，若只调用一次子程序可省略不写，系统允许重复调用次数为 1~9999。

(3) 子程序结束 M99 指令。

指令格式：M99

指令功能：子程序运行结束，返回主程序。

指令说明：

执行到子程序结束 M99 指令后，返回至主程序，继续执行 M98 P__ ××××程序段下面的主程序；

若子程序结束指令用 M99 P__格式时，表示执行完子程序后，返回到主程序中由 P__指定的程序段；

若在主程序中插入 M99 程序段，则执行完该指令后返回到主程序的起点；

若在主程序中插入/M99 程序段，当程序跳步选择开关为“OFF”时，则返回到主程序的起点；当程序跳步选择开关为“ON”时，则跳过/M99 程序段，执行其下面的程序段；

若在主程序中插入/M99 P__程序段，当程序跳步选择开关为“OFF”时，则返回到主程序中由 P__指定的程序段；当程序跳步选择开关为“ON”时，则跳过该程序段，执行其下面的程序段。

(4) 子程序的格式。

O (或:) ××××

.....

M99

格式说明：其中 O（或：） $\times\times\times\times$ 为子程序号，“O”是 EIA 代码，“：”是 ISO 代码。

习 题 2

- 2.1 试述数控机床的加工原理。
- 2.2 试述确定工件坐标系的意义、工件坐标系与机床坐标系的关系。
- 2.3 数控机床常用的刀具材料有哪些？如何合理选用刀具材料？
- 2.4 数控车刀的种类有哪些？
- 2.5 试述选用数控车刀的方法。
- 2.6 试述数控铣刀的种类与工具系统的定义。
- 2.7 试述数控机床加工工艺的特点。
- 2.8 数控加工的工艺性分析包括哪些方面？
- 2.9 确定数控机床加工的走刀路线要考虑哪些问题？
- 2.10 如何选用数控机床切削加工的切削速度、进给量和切削深度？
- 2.11 试述数控机床初始状态的含义。
- 2.12 试述 M 指令功能有效性的含义。
- 2.13 试述模态指令与非模态指令的定义。
- 2.14 试述使用子程序的意义。
- 2.15 试述车刀尖圆弧半径补偿的意义和方法。
- 2.16 试述车刀尖偏置值补偿的意义与方法。
- 2.17 试述铣刀半径补偿和长度补偿的意义及方法？
- 2.18 试分析图 2.99 所示轴类零件的数控车削加工工艺。

要求：图纸工艺分析；确定装夹方案；确定加工顺序及加工进给路线；选择切削刀具；选择切削用量。

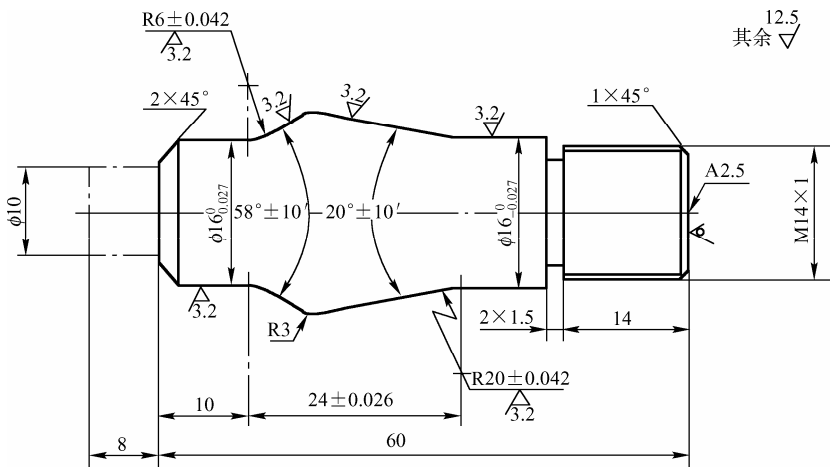


图 2.99

2.19 试分析图 2.100 所示法兰外轮廓 A 铣削加工工艺。（本零件主要加工外轮廓面 A，其他表面都已加工完毕，外形轮廓主要由四段圆弧和四段直线组成，需要用二轴联动的数控机床加工。）要求：图纸工艺

分析：确定装夹方案；确定加工顺序及加工进给路线；选择切削刀具；选择切削用量。

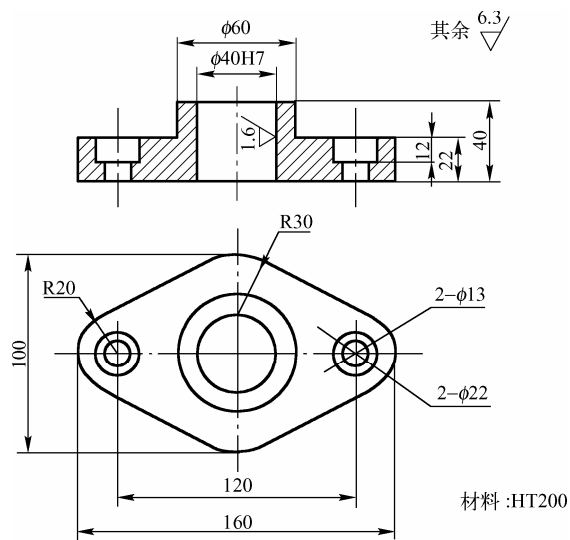


图 2.100

第 3 章 数控机床仿真软件

内容提要

软件简介。软件安装。基本功能。工件和机床的使用。软件的教学功能。

3.1 软件简介

数控加工仿真系统是基于虚拟现实的仿真软件。

20 世纪 90 年代初,源自美国的虚拟现实技术在提升传统产业层次,挖掘其潜力方面起到了巨大作用。虚拟现实技术在改造传统产业上的价值体现在:用于产品设计与制造,可以降低成本,避免新产品开发的风险;用于产品演示,可借助多媒体效果吸引客户、争取订单;用于培训,可用“虚拟设备”来增强员工的操作熟练程度。本书介绍的仿真软件是由上海宇龙软件工程有限公司研制开发的。

3.2 软件安装

本系统的安装可分为两个部分:加密锁管理软件的安装和数控仿真软件的安装。

安装光盘上“9X”目录用于 Windows 98、Windows Me 系统下的软件安装;“2000”目录用于 Windows NT 4.0、Windows 2000 系统下的软件安装;“XP”目录用于 Windows XP 系统下的软件安装。

1. 系统要求

(1) 硬件配置。

CPU P II 400 以上

内存 64MB 以上

显示器 1024×768,支持 16 位以上的颜色

显卡 AGP2×8MB 以上,推荐 AGP4X,16MB

(2) 操作系统。中文 Windows 98, Windows Me, Windows NT 4.0 或 Windows 2000, 必须安装有 TCP/IP 网络协议。

2. 网络要求

局域网必须连接正确,保证畅通,即计算机之间可以互相访问。

选择其中一台计算机作为服务端,以下统称为“教师机”,其他计算机作为客户端,以下统称为“学生机”。

3. 数控加工仿真软件的安装与卸载

(1) 硬件准备。

- ① 将“软件加密锁”安装到教师机的并行口上。
- ② 加密锁可以安装在其中任何一台计算机上，通常装在教师机上。需在装有加密锁的计算机上安装教师机程序，在其他主机上安装教师机程序无效。

(2) 教师机的安装。

- ① 运行安装目录下的可执行文件 `setup.exe`，即可进入数控加工仿真系统的安装。
- ② 安装程序启动以后，即进入欢迎使用界面，如图 3.1 所示。



图 3.1 “欢迎”界面

- ③ 在欢迎界面中单击“下一步”按钮，即进入安装类型界面，如图 3.2 所示；选择“教师机”，安装教师的服务端程序和加密锁管理程序。



图 3.2 “安装类型”界面

- ④ 在“安装类型”窗口单击“下一步”按钮，即进入许可证协议界面，如图 3.3 所示；选择“我接受许可证协议中的条款”复选框。

- ⑤ 在“许可证协议”窗口单击“下一步”按钮，进入“选择目的地位置”界面，如图 3.4 所示；在此窗口中，用户可以选择软件的安装路径，系统的默认路径为“C:\Program Files\数控加工仿真系统”，如果用户要改变安装路径，可单击“浏览”按钮选择路径。

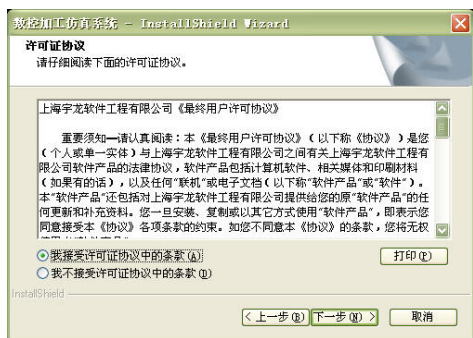


图 3.3 “许可证协议”界面



图 3.4 “选择目的地位置”界面

⑥ 在“选择目的地位置”窗口中单击“下一步”按钮，进入安装准备窗口，如图 3.5 所示；单击“安装”按钮就开始往计算机中复制文件，如图 3.6 所示。



图 3.5 “安装准备”界面

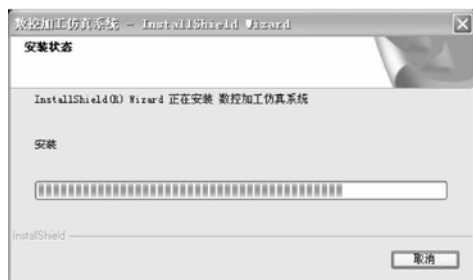


图 3.6 “安装状态”界面

⑦ 复制文件结束后，系统将自动安装加密锁驱动程序，加密锁驱动程序安装结束，系统提示“是否要在桌面上安装数控加工仿真系统的快捷方式”，如图 3.7 所示；选择“是”或“否”，即进入设置完成界面，如图 3.8 所示；单击“完成”按钮完成安装，并退出安装程序。

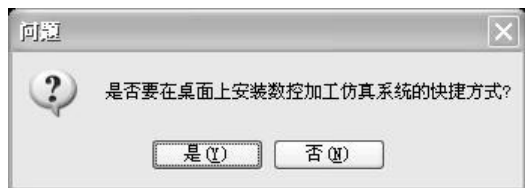


图 3.7



图 3.8 “安装完成”界面

(3) 学生机的安装。学生机的安装与教师机的安装相似。

① 运行安装目录下的可执行文件 `setup.exe` 进入数控加工仿真系统的安装。

② 安装程序启动以后，进入欢迎使用界面。单击“下一步”按钮，进入安装类型界面，如图 3.9 所示；选择“学生机”，单击“下一步”按钮，进入“选择目的地位置”窗口，用户可以选择软件的安装路径，系统的默认路径为“C:\Program Files\数控加工仿真系统”，如果用户要改变安装路径，可单击“浏览”按钮选择路径。



图 3.9 “安装类型”界面

③ 在“选择目的地位置”窗口中单击“下一步”按钮，进入安装准备窗口；单击“安装”按钮就开始往计算机中复制文件，根据提示操作直至安装完成。

(4) 程序的卸载。打开“控制面板”的“添加/删除程序”，选中程序列表中的“数控加工仿真系统”，单击“添加/删除(R) ...”按钮，即可删除本程序。

3.3 基本功能

3.3.1 项目文件

1. 项目文件作用

项目文件可保存所有操作结果，但不包括操作过程。

2. 项目文件的内容



图 3.10

(1) 机床、毛坯、加工过的零件、选用的刀具和夹具、在机床上的安装位置和方式。

(2) 工件坐标系、刀具长度和半径补偿数据、参数。

(3) 输入的数控程序。

3. “文件”菜单

如图 3.10 所示为“文件”菜单。

(1) 新建项目。打开菜单“文件/新建项目”，选择新建项目后，就建立了一个新的项目，并且回到机床选择后的状态。

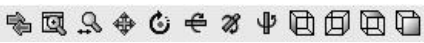
(2) 打开项目。打开选中的项目文件夹，在文件夹中选中并打开后缀名为“.mac”的文件。

(3) 保存项目。打开菜单“文件/保存项目”，选择需要保存的内容，输入项目名，单击“确认”按钮。如果保存一个新的项目或者需要以新的项目名保存，选择“文件/另存项目”。

保存项目时，系统自动以用户给予的文件名建立一个文件夹，内容都保存在该文件夹之中。

3.3.2 视图设置

1. 工具条中视图变换的选择

在工具条中单击相应按钮，其功能分别对应于“视图”菜单中的“复位”、“局部放大”、“动态缩放”、“动态平移”、“动态旋转”、“侧视图”、“俯视图”、“前视图”功能，或将光标置于显示区域内，单击鼠标右键，弹出相应的浮动菜单，如图 3.11 所示。

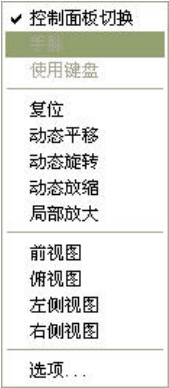



图 3.11

2. 控制面板界面切换

打开菜单“视图/控制面板切换”或在工具条中单击“”按钮，即完成控制面板切换。

未选择“控制面板切换”时，面板状态如图 3.12 所示，此时 FANUC 系统可完成机床回零、手动控制等基本操作。

选择“控制面板切换”后，面板状态如图 3.13 所示，此时 FANUC 系统可完成各参数的输入及编辑程序等操作。

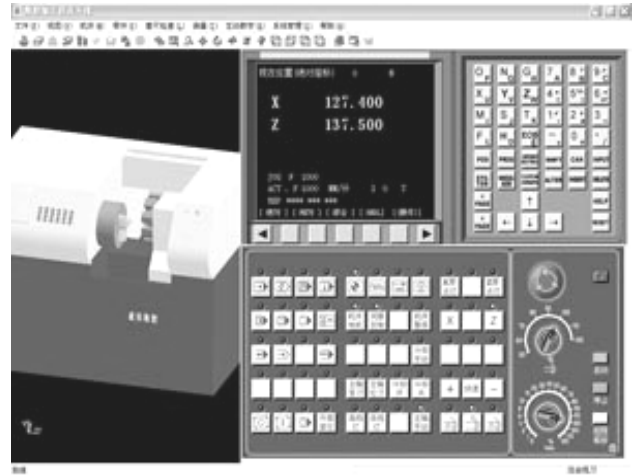


图 3.12

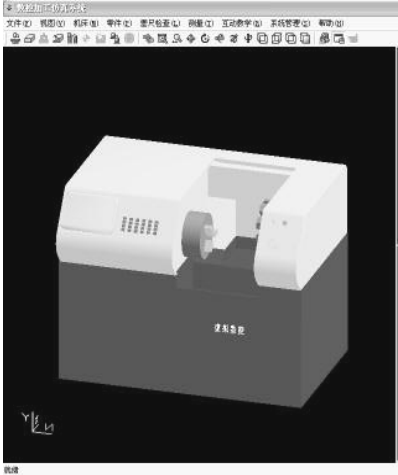


图 3.13

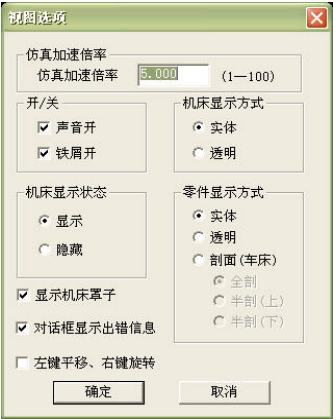



图 3.14 “视图选项”对话框

3. “选项”设置

打开菜单“视图/选项”或在工具条中单击“”按钮，在对话框中进行相应设置，如图 3.14 所示。如果是数控铣床仿真加工，其中“显示机床罩子”的单选框可以取消，以便更好地观察工件。其中“机床显示方式”可选择“透明”，这样能使工件和刀具突显出来；“速度设置”中的速度值用以调节仿真速度，有效数值范围 1~100。

如果选中“对话框显示出错信息”，出错信息提示将出现在对话框中；否则，出错信息将出现在屏幕的右下角。

3.3.3 系统管理

“系统管理”主要由具有用户管理权限的用户使用。

1. 用户管理

打开菜单“系统管理/用户管理”，弹出如图 3.15 所示的对话框，拥有管理权限的用户可以更改自身及其他用户的基本信息及用户权限，普通用户只能更改用户自己的口令。



图 3.15 “用户管理”对话框

2. 刀具库管理

以铣刀刀具库管理为例，打开菜单“系统管理/铣刀库管理”，弹出如图 3.16 所示的对话框，享有管理权限的用户可以对相应的刀具进行更改、添加、删除。

(1) 添加刀具。

① 选择“添加刀具”，输入新的刀具编号（名称）。

② 选择刀具类型，首先在刀具类型中根据图片选择类型，然后单击“选定该类型”按钮。

③ 输入刀具参数，单击“保存”按钮，添加刀具完成。

(3) 详细资料。选中刀具单击“详细资料”，可查看刀具基本信息，如图 3.17 所示。



图 3.16 “铣刀库管理”对话框



图 3.17 “刀具基本信息”窗口

打开菜单“**系统管理/系统设置**”，弹出如图 3.18 所示的对话框，享有管理权限的用户可更改公共属性、FANUC 属性等设置。

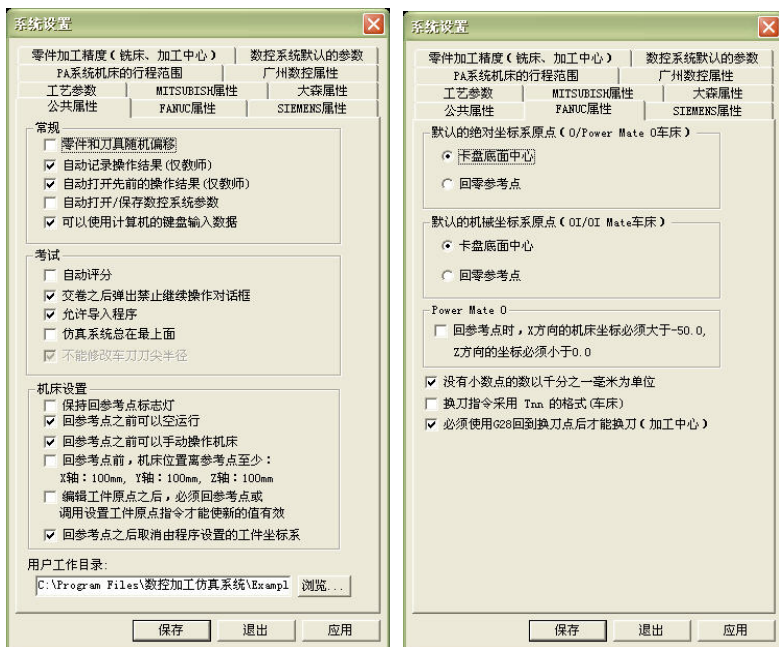


图 3.18 “系统设置”对话框

3.4 工件和机床

3.4.1 机床选择

1. 选择机床类型















打开菜单“机床/选择机床...”，在“选择机床”对话框中，选择控制系统类型和相应的机床，单击“确定”按钮，此时界面如图 3.19 所示。



图 3.19 “选择机床”对话框

2. 机床回零操作

以 FANUC 0i 数控车床为例，介绍机床回零操作步骤。


- (1) 单击“启动”按钮，此时机床电机和伺服控制的指示灯变亮。
- (2) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。
- (3) 检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击按钮，进入回原点模式。
- (4) 在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击控制面板上的按钮，使 X 轴方向移动，指示灯变亮，单击按钮，此时 X 轴将回原点，X 轴回原点灯变亮，CRT 上的 X 坐标变为“390.000”；同样，再单击 Z 轴方向“移动”按钮，使 Z 轴方向指示灯变亮，单击按钮，此时 Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮。此时 CRT 界面如图 3.20 所示。

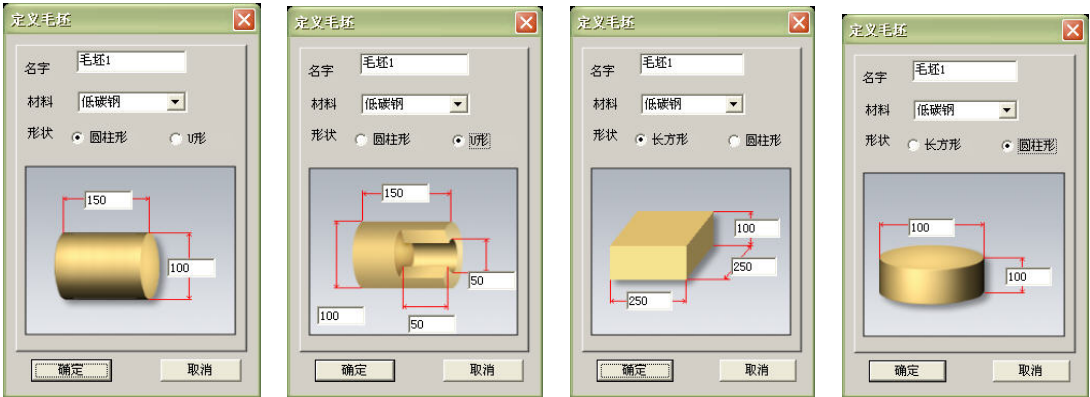
X	390.000
Z	300.000

图 3.20

3.4.2 工件的使用

1. 定义毛坯

打开菜单“零件/定义毛坯”或在工具条上单击按钮，弹出图 3.21 所示的“定义毛坯”对话框。



(a) 车床圆柱形毛坯定义 (b) 车床 U 形毛坯定义 (c) 铣床方形毛坯定义 (d) 铣床圆柱形毛坯定义

图 3.21 “定义毛坯”对话框

(1) 选择毛坯类型。车床毛坯有圆柱形和 U 形两种形状的毛坯供选择，铣床、加工中心有长方形和圆柱形两种形状的毛坯供选择，可以在“形状”复选框中选择。

(2) 参数输入。在毛坯“名字”输入框内输入毛坯名，也可以使用默认名；尺寸输入框用于输入尺寸，单位为毫米。

(3) 保存退出。单击“确定”按钮，保存定义的毛坯，退出本操作。

(4) 取消退出。单击“取消”按钮，退出本操作。


2. 导出零件模型

打开菜单“文件/导出零件模型”，在“另存为”对话框中，输入文件名，保存零件模型。利用保存零件模型这个功能，可以把经过部分加工的零件作为成型毛坯存放。

3. 导入零件模型

打开菜单“文件/导入零件模型”，弹出“打开”对话框，在此对话框中选择并且打开后缀名为“PRT”的零件文件。

4. 夹具选择

打开菜单“零件/安装夹具”命令或者在工具条上单击按钮，弹出“选择夹具”对话框，如图 3.22 所示。

在“选择零件”列表框中选择毛坯，在“选择夹具”列表框中选择夹具，长方体零件可

以选用工艺板或者平口钳，圆柱形零件可以选择工艺板或者卡盘。

“夹具尺寸”内的文本框仅供用户修改工艺板的尺寸，“移动”内的按钮供调整毛坯在夹具上的位置。

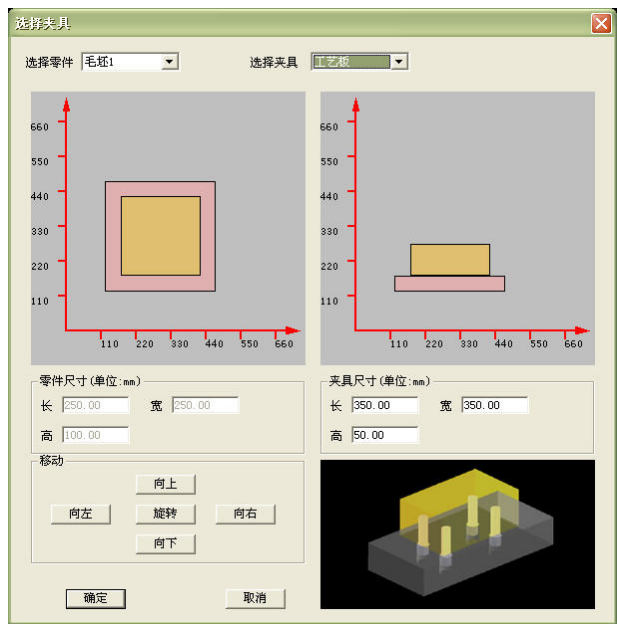


图 3.22 “选择夹具”对话框

5. 放置零件


打开菜单“零件/放置零件”命令或者在工具条上单击按钮，打开“选择零件”对话框，如图 3.23 所示。



图 3.23 “选择零件”对话框

在列表中单击所需的零件，单击“确定”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。对于卧式加工中心还可以在上述对话框中选择是否使用角尺板。如果选择了使用角尺板，那么在放置零件时，角尺板同时出现在机床台面上。

若在类型列表中选择“选择模型”，则可以选择导入的零件模型文件，如图 3.24 所示。

6. 调整零件位置

零件可以在工作台面上移动。零件或毛坯放上工作台后，系统将自动弹出一个数控铣床

移动零件小键盘，如图 3.25 所示。通过单击小键盘上的“方向”按钮，实现零件的平移和旋转。小键盘上的“退出”按钮用于关闭小键盘。选择菜单“零件/移动零件”也可以打开小键盘。



图 3.24

7. 使用压板

当铣床使用工艺板或者不使用其他夹具时，可以使用压板。

(1) 安装压板。打开菜单“零件/安装压板”，系统打开“选择压板”对话框，如图 3.26 所示。

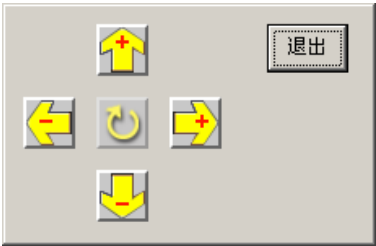


图 3.25

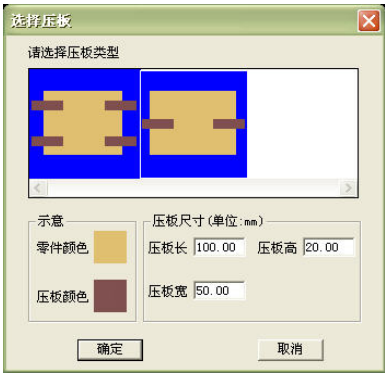


图 3.26 “选择压板”对话框

对话框中列出各种安装方案，拖动滚动条，可以浏览全部可能方案。选择所需要的安装方案，单击“确定”按钮，压板将出现在台面上。

在“压板尺寸”中可更改压板长、高、宽，范围：长 30~100 mm；高 10~20 mm；宽 10~50 mm。

(2) 移动压板。打开菜单“零件/移动压板”，系统弹出小键盘，操作者可以根据需要平移压板（不能旋转压板）。首先用鼠标选择需移动的压板，被选中的压板颜色变成灰色，如图 3.27 所示，

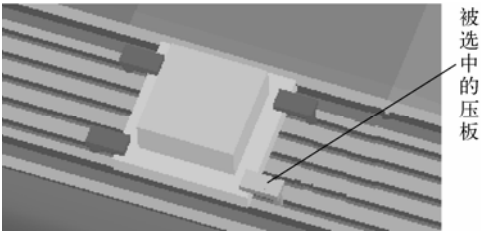



图 3.27

然后单击小键盘中的“方向”按钮操纵压板移动。

(3) 拆除压板。打开菜单“零件/拆除压板”，可拆除压板。

3.4.3 刀具选择

打开菜单“机床/选择刀具”，或者在工具条中单击按钮，进入刀具选择对话框。

1. 数控车床

系统中数控车床允许同时安装 8 把刀具，“刀具选择”对话框如图 3.28 所示。

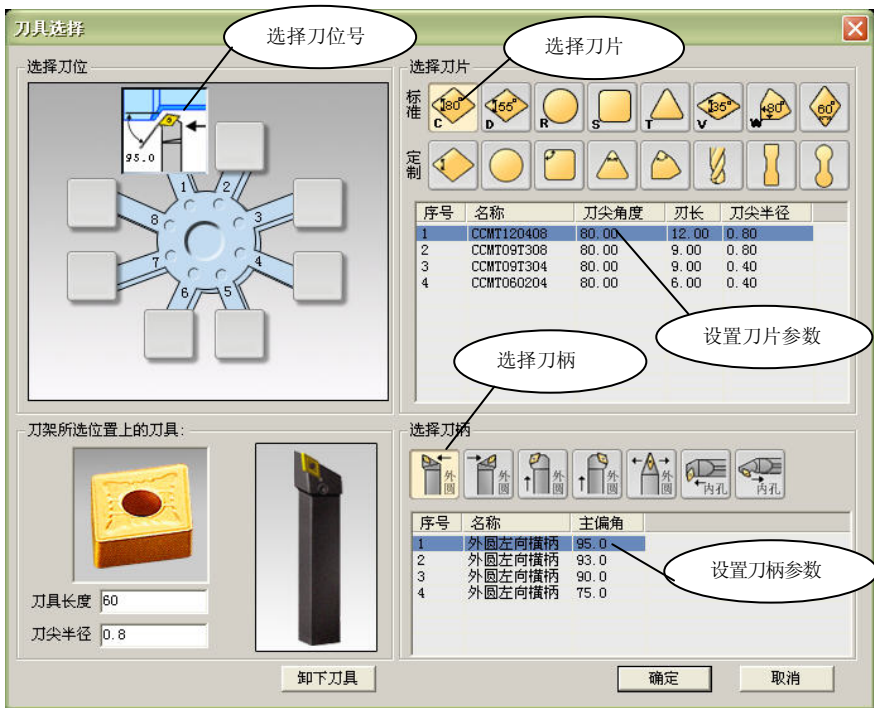


图 3.28 “刀具选择”对话框

- (1) 选择车刀。
- ① 在对话框左侧排列的编号 1~8 中，选择所需的刀位号，被选中的刀位编号的背景颜色变为蓝色。
- ② 选择刀片。系统会自动给出同类刀片的型号和相匹配的刀柄供选择，选择刀片参数要注意刀尖角度和刀尖半径。
- ③ 选择刀柄。系统会自动给出同类刀柄的参数，选择合适的刀柄。当刀片和刀柄都选择完毕，刀具被确定，并且输入到所选的刀位中，旁边的图片显示其适用的方式。
- ④ 如果要继续安装车刀可单击对话框左侧编号框，选择所需的刀位号，再重复第②～③步。
- ⑤ 所有刀具选择完成后，单击“确认”按钮退出，保存选择的结果。退出时所选中的刀位将是当前工作刀位，当前工作刀位处于加工位置。

(2) 刀尖半径修改。允许操作者修改刀尖半径，刀尖半径可以是 0，单位为毫米。

(3) 刀具长度修改。允许操作者修改刀具长度，刀具长度是指从刀尖开始到刀架的距离。

(4) 输入钻头直径。当在刀片中选择钻头时，允许输入直径。

2. 加工中心和数控铣床

在加工中心和数控铣床中，铣刀的选择所依据的条件是直径和类型，“选择铣刀”对话框如图 3.29 所示。操作步骤如下：



图 3.29 “选择铣刀”对话框

(1) 在“所需刀具直径”输入框内输入直径，如果不把直径作为筛选条件，则输入数字“0”。

(2) 在“所需刀具类型”选择列表中所列刀具类型，可供选择的刀具类型有平底铣刀、球头铣刀、平底圆角铣刀、钻头和镗刀等。

(3) 单击“确定”按钮，列出刀具数据库中符合条件的刀具。

(4) 指定序号。在“已经选择的刀具”中指定序号。这个序号就是刀库中的刀位号。卧式加工中心允许同时选择 20 把刀具；立式加工中心允许同时选择 16 把刀具；数控铣床只有一个刀位。

(5) 选择当前加工刀具。

- ① 卧式加工中心装载当前选中的刀具，其余刀具放在刀架上，通过程序调用。
- ② 立式加工中心暂不装载刀具，刀具选择后放在刀架上，通过程序调用。
- ③ 铣床只需在刀具列表中选择所需要的刀具后，单击“确定”按钮，即完成刀具选择。

(6) 输入刀柄参数。操作者可以按需要输入刀柄参数。参数有直径和长度两个，“刀具总长”是刀柄长度与刀具长度之和。

3.4.4 车床基准确定（对刀）

下面分别介绍 FANUC Oi 系统和 SIEMENS-810D 系统中基准确定的方法，在这两种系统中，对刀方式以试切法为主。用所选的刀具试切零件的外圆和端面，经过测量和计算得到工件坐标系原点的坐标值。

1. FANUC Oi系统

（1）单把刀具对刀。

① 以卡盘底面中心为机床坐标系原点。







- a. 机床坐标系原点与刀具参考点在 X 轴方向的距离为 390，在 Z 轴方向的距离为 300。
- b. 在手动操作模式下，通过手动方式将机床移到如图 3.30 所示的大致位置。
- c. 单击操作面板上的  或  按钮，启动主轴，再单击 Z 轴方向移动按钮 ，使 Z 轴方向指示灯  变亮；单击  按钮，用所选刀具试切工件外圆，如图 3.31 所示；单击 MDI 键盘上的  按钮，CRT 界面显示坐标值，单击软键“综合”，如图 3.35 所示，读出 CRT 界面上显示的机械坐标的 X 值，记为 X1。



图 3.30

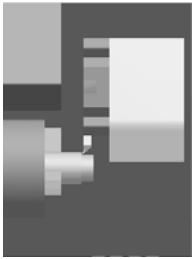







图 3.31

- d. 单击  按钮，将刀具退至如图 3.32 的位置，单击控制面板上的  按钮，使 X 轴方向移动指示灯  变亮；单击  按钮，试切工件端面，记下此时 Z 的机械坐标，如图 3.33 所示，记为 Z1。
- e. 单击操作面板上的  按钮，使主轴停止转动；单击菜单“工艺分析/测量”，弹出如图 3.34 所示的对话框，单击试切外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色，记下对话框中对应的 X 值，记为 X2。

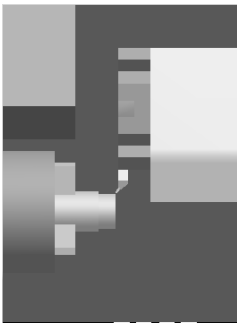


图 3.32

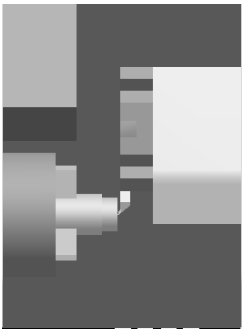


图 3.33

f. X1 的坐标值减去“测量”中读取的 X2 的值，再加上机床坐标系原点到刀具参考点在 X 方向的距离，即 $X1-X2+390$ ，记为 X；Z1 加上机床坐标系原点到刀具参考点在 Z 方向的距离，即 $Z1+300$ ，记为 Z。（X，Z）即为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

② 以刀具参考点为机床坐标系原点。

a. 通过手动方式将机床移到图 3.30 所示的大致位置。

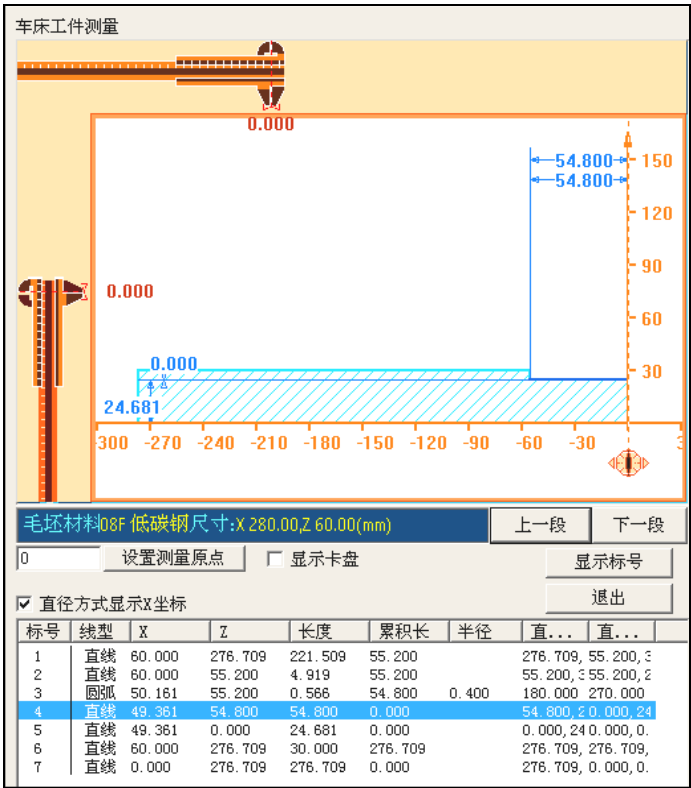


图 3.34

b. 单击操作面板上的 或 按钮，控制主轴转动。再单击 Z 轴方向移动按钮 ，单击 按钮，用所选刀具试切工件外圆，参见图 3.31，记下此时 X 的绝对坐标，记为 X1，如图 3.35 所示。

c. 单击 按钮，将刀具退至图 3.32 所示的位置，单击控制面板上的 按钮，单击 按钮，试切工件端面，参见图 3.33，记下此时 Z 的绝对坐标，记为 Z。

d. 单击操作面板上的 按钮，使主轴停止转动，单击菜单“工艺分析/测量”，弹出“车床工件测量”对话框（见图 3.34），单击试切外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色。记下下面对话框中对应的 X 值，记为 X2；X1 的坐标值减去“测量”中读取的 X2 的值，即 $X1-X2$ ，记为 X；（X，Z）即为工件坐标系

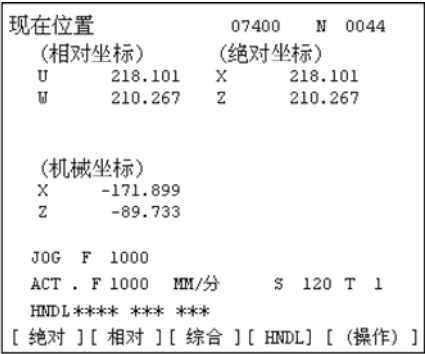



图 3.35

原点在机床坐标系中的坐标值。

③ 使用 G50 定义工件坐标系。

a. 试切工件外圆完成后，单击操作面板上的  按钮，使主轴停止转动，单击菜单“工艺分析/测量”，得到试切后的工件直径，记为 X1。


b. 单击 MDI 键盘上的 **POS** 按钮，CRT 界面显示坐标值，按软键“综合”，读出 CRT 界面上显示的机械坐标的 X 的值，记为 X2。计算 $x_p = -(X2 - X1)$ 。

c. 试切工件端面，读出 CRT 界面上显示的机械坐标的 Z 的值，记为 Z1。计算 $z_p = -(Z1 - Z2)$ ，Z2 为端面在工件坐标系中的 Z 值（此处选用工件端面中心点为工件坐标系原点，所以 Z2=0）

d. 采用 G50 设定工件坐标系原点是以刀架处于刀具参考点为前提的，所以定义工件坐标系时调用的程序如下：

```
G28 U0 W0
T0100
G50 Xxp Zzp
```

e. 直接使用机床坐标系。

首先用所选刀具试切工件外圆（方法同试切法），然后单击  按钮，使主轴停止转动，单击菜单“工艺分析/测量”，得到试切后的工件直径，记为 X1。

f. 保持 X 轴方向不移动，单击 MDI 键盘上的 **OFFSET** 按钮，进入磨损补偿参数设定界面或形状补偿参数设定界面，将光标移到相应的位置，输入 XX1，单击 **INPUT** 按钮输入到指定区域。

g. 试切工件端面，读出端面在工件坐标系中 Z 的坐标值，记为 Z1（此处以工件端面中心点为工件坐标系原点，则 Z1 为 0）。

h. 保持 Z 轴方向不移动，进入磨损补偿参数设定界面或形状补偿参数设定界面，将光标移到相应的位置，输入 ZZ1，单击 **INPUT** 按钮输入到指定区域。

调用参数使刀具走到工件坐标系原点时，调用的程序如下：

```
T0101
G00
X0
Z0
```

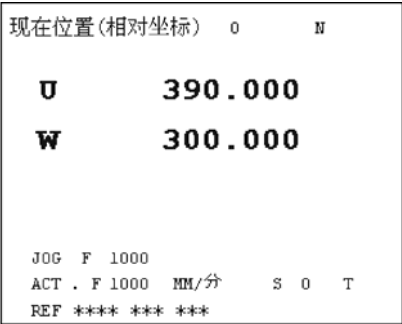



图 3.36

(2) 多把刀具对刀。通过设置偏置值可以完成多把刀具的对刀。车床的刀架上可以同时放置 8 把刀具，选择其中一把刀作为标准刀具（以下简称标刀），采用试切法或自动设置坐标系法完成对刀后，可通过设置偏置值完成其他刀具的对刀。下面介绍刀具偏置值的获取办法：

① 单击 MDI 键盘上 **POS** 按钮，使 CRT 界面显示坐标值。按“向下翻页”  按钮，进入相对坐标显示界面，如图 3.36 所示。

② 使用选定的标刀试切工件端面。将刀具当前

的 Z 轴位置设为相对零点（设置相对零点前不得有 Z 轴位移）；依次单击 MDI 键盘上的 **SHIFT**、**Z_W**、**0_{*}**按钮，输入“w0”，单击软键“预定”，将 Z 轴当前坐标值设为相对坐标原点。

③ 使用标刀试切零件外圆。将刀具当前 X 轴的位置设为相对零点（设置相对零点前不得有 X 轴的位移）；此时标刀在工件上已切出一个基准点。当标刀在基准点位置时，即在设置的相对零点位置时，依次单击 MDI 键盘上的 **SHIFT**、**X_U**、**0_{*}**按钮，输入“u0”，单击软键“预定”，将 X 轴当前坐标值设为相对坐标原点。此时 CRT 界面如图 3.37 所示。

④ 退出换刀后，将下一把刀移到工件的基准点位置，此时显示的相对值即为该刀相对于标刀的偏置值 ΔX 、 ΔZ （为保证刀准确移到工件的基准点上，可采用手动脉冲进给方式）。此时 CRT 界面如图 3.38 所示，所显示的值即为偏置值；将偏置值输入到磨损参数补偿表或形状参数补偿表内。

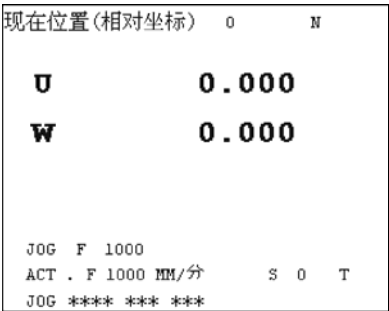


图 3.37

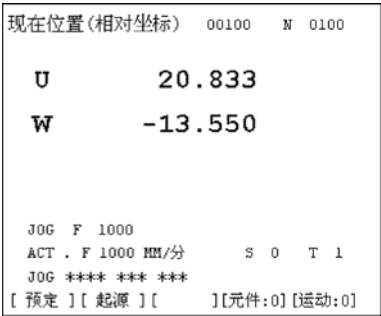


图 3.38

这里需要说明的是：MDI 键盘上的 **SHIFT** 按钮用来切换字母键，如 **X_U** 按钮，直接单击输入的为“X”；单击 **SHIFT** 按钮，再按 **X_U** 按钮，输入的为“U”。

机床自身可以通过获取刀具偏置值，确定该把刀具在加工零件时的工件坐标原点。

2. SIEMENS-810D系统

（1）单把刀具对刀。SIEMENS 810D 提供了两种对刀方法：设定工件坐标系（G54～G57）和直接使用机床坐标系的长度偏移法。下面介绍对刀方式时均采用卡盘底面中心为机床坐标系的原点，工件右端面中心为工件坐标系原点。

① 设定工件坐标系（G54～G57）。

a. 单击菜单“视图/俯视图”或单击主菜单工具条上的 **VIEW** 按钮，使机床呈如图 3.39 所示的俯视图。然后单击菜单“视图/局部放大”或单击主菜单工具条上的 **MAG** 按钮，此时鼠标呈放大镜状，将需要局部放大的部分置于鼠标选择框中，如图 3.40 所示，松开鼠标，此时机床视图如图 3.41 所示。

b. 单击操作面板上的 **MAN** 按钮，进入手动状态；单击 **-X** 按钮，使机床向 X 轴负方向移动，单击 **-Z** 按钮，使机床向 Z 轴负方向移动。适当单击上述两个按钮，将机床移动到如图 3.42 所示的大致位置。

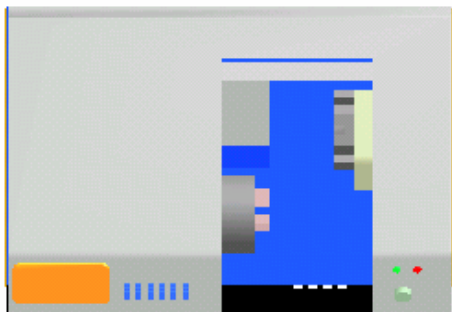


图 3.39

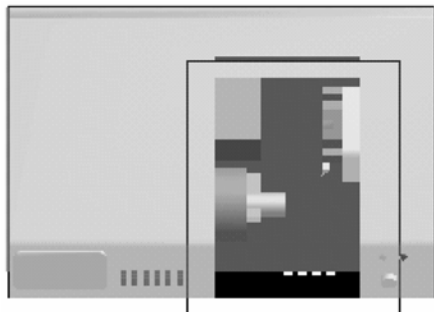






图 3.40

c. 机床移动到图 3.42 所示的大致位置后，单击操作面板上的  按钮，使主轴松开，再单击  或  按钮，使主轴转动；单击  按钮，用所选刀具试切一小段工件外圆，如图 3.43 所示。读出 CRT 界面上显示的机床坐标系中的 X 坐标值，记为 X1。

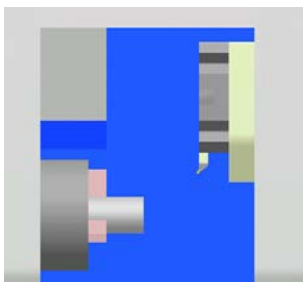


图 3.41

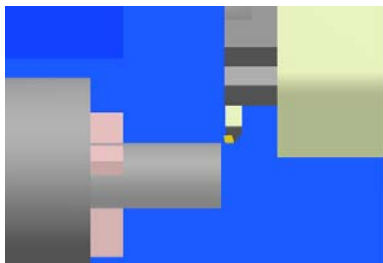




图 3.42

d. 单击操作面板上的  按钮，将刀具退至如图 3.44 所示位置；单击  按钮，试切工件端面，如图 3.45 所示。记下 CRT 界面上显示的机床坐标系的 Z 坐标，记为 Z。

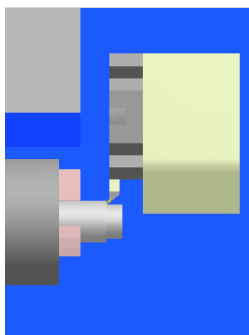


图 3.43

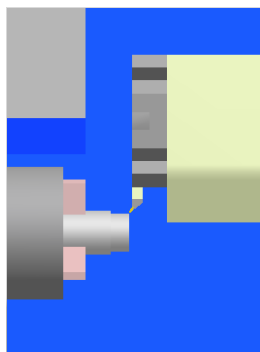


图 3.44

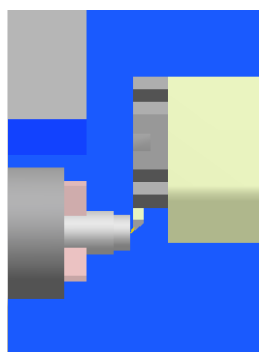



图 3.45

e. 单击  按钮，使主轴停止转动，单击菜单“工艺分析/测量”，打开“车床工件测量”对话框，如图 3.46 所示；单击试切外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色。记下右边对话框中对应的 X 值，记为 X2。

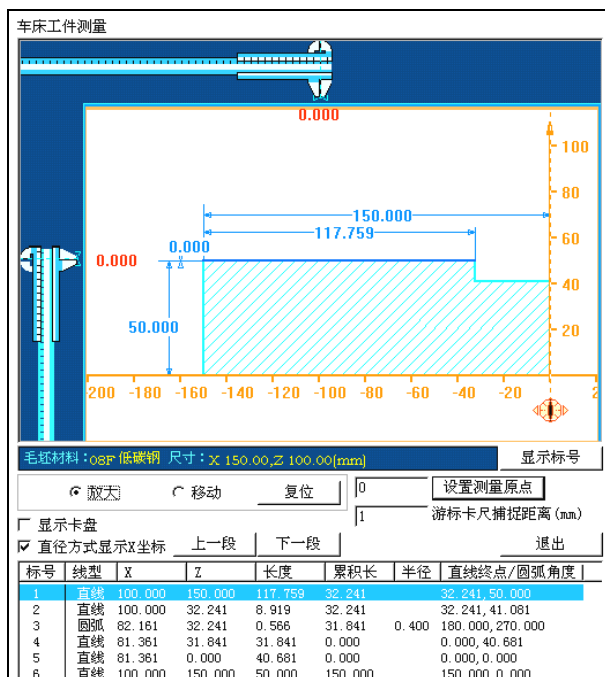


图 3.46 “车床工件测量”对话框

f. 试切零件外圆时得到坐标值 X1 减去“测量”中读取的坐标值 X2，即 $X1 - X2$ ，记为 X。
(X, Z) 即为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

g. 测量得到的数据需要输入到对应的工件坐标系参数中去，具体过程参见 4.3 节“参数设置”。

(2) 长度偏移法。

① 首先试切零件外圆，记下此时 X 轴的坐标，记为 X1；然后，试切零件端面，记下此时 Z 轴的坐标，记为 Z。单击菜单“工艺分析/测量”，测出被切零件的直径，记为 X2，即 $X = X1 - X2$ 。

② 单击操作面板上的 按钮，CRT 界面下方显示软键菜单条；单击软键 ，在弹出的下级子菜单中单击软键 ，再单击 CRT 界面右侧的软键 ，弹出如图 3.47 所示的“创建新刀具”对话框。

Create new tool





T number
0

Tool type
0
Tool type unknown

Interpretation of tool type

1xx Milling tools
2xx Drilling tools
4xx Grinding tools
5xx Turning tools
7xx Special tools

图 3.47

在“创建新刀具”对话框中，单击工具条上的按钮，通过弹出键盘输入刀号（此处输入“1”），单击按钮确认。光标自动移到“Tool type”栏中，输入“500”，单击按钮确认；此时光标自动移到“C. edge pos”栏中，输入刀尖方位号（1~9），此处输入“3”。单击软键，进入如图 3.48 所示的刀具补偿参数设定界面。





Tool Offsets				TO area 1	
T number	1	D number	1	No. of c. edges	1
Tool type	110 Ballhead cutter				
Tool length		Geometry	Wear	Base	
Length 1	0.000		0.000	0.000	mm
Length 2	0.000		0.000	0.000	mm
Length 3	0.000		0.000	0.000	mm
Radius				mm	
Radius	0.000		0.000		
DP7.16	0.000		0.000		
DP8.17	0.000		0.000		
DP9.18	0.000		0.000		
DP11.19	0.000		0.000		
DP12.20	0.000		0.000		
Technology					
Clear angle	0.000	Deg			
DP25	0.000				


图 3.48

在刀具补偿设置界面中，在“Geometry”对应的“Length 1”栏中输入 X 的值，单击按钮确认；单击按钮，将光标移到“Geometry”对应的“Length 2”栏中，输入 Z 的值，单击按钮确认。

注意：使用长度偏移时，不再需要设定工件坐标系。若设定了工件坐标系（G54~G57），则 Length1 和 Length2 值设为 0。使用长度偏移法对刀，在程序中必须指定刀号和刀沿号。

（3）多把车刀对刀。以两把刀对刀为例进行介绍，两把以上刀的对刀方法类似。采用类似长度偏移法中介绍的建立新刀具的方法，建立两把新刀具。

在 MDA 方式下，执行指令 T1D1M6，将第一把刀设为当前刀具。对第一把刀对刀，采用长度偏移法。在第一把刀的刀具参数设定界面，设定“Length 1”和“Length 2”的值。

在 MDA 方式下，执行指令 T2D1M6，将第二把刀设为当前刀具。对第二把刀对刀，同样采用长度偏移法。在第二把刀的刀具参数设定界面，设定“Length 1”和“Length 2”的值（单击软键，可以进入第二把刀的工具补偿参数设定界面）。

3.4.5 铣床基准确定（对刀）

1. X、Y轴对刀


铣床及卧式加工中心在 X、Y 方向对刀时，一般需要使用基准工具，基准工具包括刚性圆柱基准工具和寻边器两种。

单击菜单“机床/基准工具...”，在弹出的“基准工具”对话框中，左边是刚性圆柱基准工具，右边是寻边器，如图 3.49 所示。

（1）刚性圆柱基准工具。刚性圆柱基准工具采用检查塞尺松紧的方式对刀。本系统提供的塞尺厚度有 0.05 mm、0.1 mm、0.2 mm、1 mm、2 mm、3 mm 以及 100 mm（量块），不同的塞尺可以叠加使用。以下分别介绍了 FANUC Oi 系统和 SIEMENS-810D 系统中该工具的具

体使用过程（以下操作过程中，零件的 X 方向正侧边为基准边）。

① FANUC 0i 系统。

a. 先在 X 轴方向对刀。单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯变亮，机床进入手动加工状态；单击 MDI 键盘上的 POS 按钮，使 CRT 界面上显示坐标值；利用操作面板上的 X、Y、Z 按钮和 +、- 按钮，将机床移到如图 3.50 所示的大致位置。

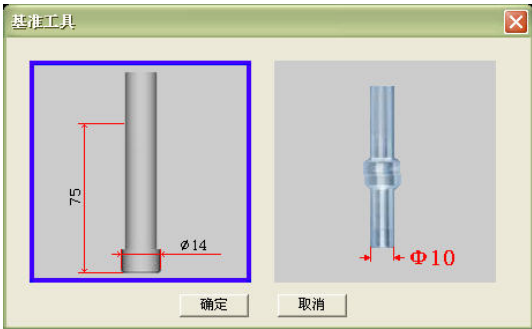


图 3.49

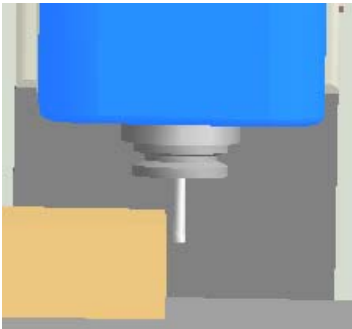


图 3.50








b. 采用手动脉冲方式移动机床。单击菜单“塞尺检查/1 mm”，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮；采用手动脉冲方式精确移动机床。单击按钮显示手轮，如图 3.51 所示，将手轮对应轴旋钮置于 X 档，调节“手轮进给速度”旋钮；在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动零件，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 3.52 所示。



图 3.51

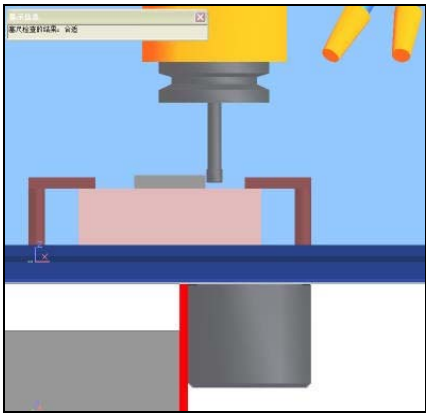





图 3.52







c. 记下塞尺检查结果为“合适”时，CRT 界面中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1；将定义毛坯数据时设定的零件的长度记为 X2；将塞尺厚度记为 X3；将基准工件直径记为 X4（可在选择基准工具时读出），则工件坐标系原点的 X 坐标为基准工具中心的 X 的坐标减去零件长度的一半，再减去塞尺厚度和基准工具半径，即 $X1 - X2/2 - X3 - X4/2$ 。结果记为 X。

d. Y 方向对刀采用同样的方法。得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y。

e. 完成 X、Y 方向对刀后，需将塞尺和基准工具收回，具体步骤如下：

- 单击菜单“塞尺检查/收回塞尺”，将塞尺收回。
- 单击操作面板中按钮，切换到手动状态；单击按钮，将 Z 轴作为当前移动轴；单击按钮，抬高 Z 轴到适当位置；再单击菜单“机床/拆除工具”拆除基准工具。

(2) SiEMENS-810D 系统。

① 单击操作面板中的按钮进入“手动”方式；单击按钮，选择 X 轴为移动轴；或单击按钮，选择 Y 轴为移动轴；或单击按钮，选择 Z 轴为移动轴；单击或按钮让机床在当前进给轴的正方向或负方向连续进给；适当单击上述按钮，将机床移动到如图 3.53 所示的大致位置。

② 移动到图 3.53 所示的大致位置后，可以采用点动方式移动机床，单击菜单“塞尺检查/1 mm”选择塞尺，基准工具和零件之间被插入 1 mm 厚度的塞尺。在机床下方显示如图 3.54 所示的局部放大图（紧贴零件的红色物件为塞尺）。

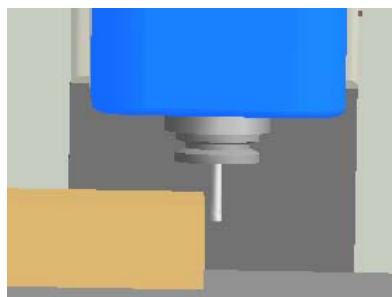


图 3.53

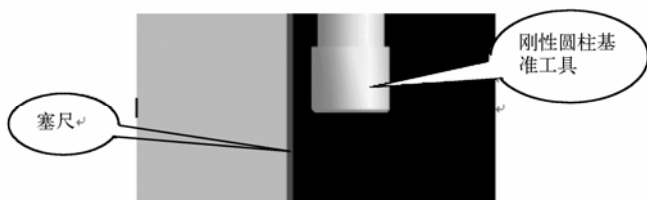
















图 3.54

③ 单击操作面板上的相应“点动距离”、、、、、按钮，调节点动距离。、、、、按钮分别表示点动的不同倍率，分别代表 0.001 mm、0.01 mm、0.1 mm、1 mm、10 mm。选择好点动距离后，使用、和按钮移动机床，并调整点动距离直到提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，如图 3.55 所示。

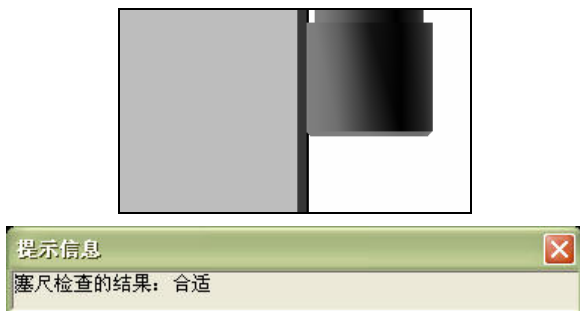












图 3.55

④ 记下塞尺检查结果为“合适”时机床坐标系下的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1；将工件坐标系原点到 X 方向基准边的距离记为 X2；将塞尺厚

度记为 X3（此处为 1 mm）；将基准工件直径记为 X4（可在选择基准工具时读出，刚性基准工具的直径为 14 mm）。则工件坐标系原点的 X 坐标为 $(X1 - X2 - X3 - X4) / 2$ ，结果记为 X。

这一过程中，需要注意的是，当提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：太松”时，在此例中应单击  按钮，使机床向 X 轴负方向移动；提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：太紧”时，单击  按钮，使机床向 X 轴正方向移动；在塞尺检查的过程中，可随时根据需要调节点动距离。

也可以采用手轮方式移动机床，单击  按钮，显示手轮，分别单击操作面板的“点动距离”按钮 、、、、、，用来调节手轮的脉冲当量；在手轮  上按住鼠标左键，机床向负方向运动，按住鼠标右键，机床向正方向运动。每按一次，机床移动一个脉冲当量；按住不放，机床则连续移动。








⑤ Y 方向对刀采用同样的方法。得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y。







⑥ 完成 X，Y 方向对刀后，需将塞尺和基准工具收回。具体步骤同上。

2. 寻边器

寻边器的原理是观察组成寻边器的两个不同轴的晃动程度来进行对刀。

(1) FANUC Oi 系统。

① X 轴方向对刀。首先使机床进入手动加工状态；使 CRT 界面显示坐标值；分别利用操作面板上的 、、 按钮和 、 按钮，将机床移到如图 3.56 所示的大致位置。在手动状态下，单击操作面板上的  或  按钮，使主轴转动。未与工件接触时，寻边器大幅度晃动。

此时，可采用手动脉冲方式精确移动机床。单击操作面板上的“手动脉冲”  或  按钮，单击  按钮显示手轮，将手轮对应“轴”旋钮  置于 X 档；调节“手轮进给速度”旋钮 ，在手轮  旋钮上单击鼠标左键或右键精确移动零件，此时寻边器晃动幅度逐渐减小，直至基本不晃动，此时寻边器与工件恰好吻合，如图 3.56 所示。若此时再进行增量或手轮方式的小幅度进给时，寻边器会突然大幅度偏移，如图 3.57 所示。

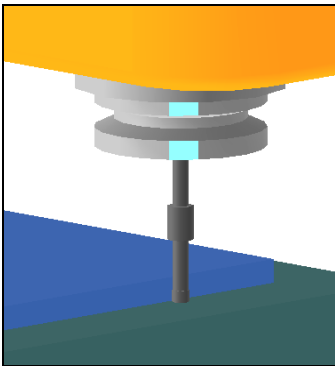


图 3.56

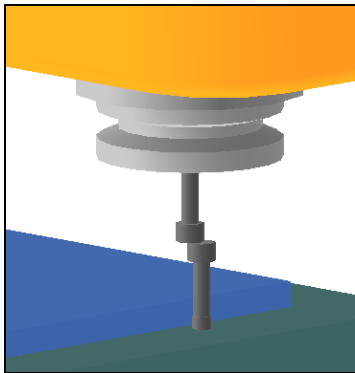


图 3.57

记下寻边器与工件恰好吻合时 CRT 界面中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1；将定义毛坯数据时设定的零件的长度记为 X2；将基准工件直径记为

X3（可在选择基准工具时读出），则工件坐标原点的 X 坐标等于 $X1 - X2/2 - X3/2$ ，结果记为 X。

② Y 方向对刀采用同样的方法。得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y。

③ 完成 X、Y 方向对刀后，单击菜单“塞尺检查/收回塞尺”，将塞尺收回；单击操作面板上的“手动”按钮，机床转入手动加工状态；单击 Z 和 + 按钮，将 Z 轴提起；再单击菜单“机床/拆除工具”拆除基准工具。

（2）SIEMENS-810D 系统。寻边器由固定端和测量端两部分组成。固定端由刀具夹头夹持在机床主轴上，中心线与主轴轴线重合。在测量时，通过手动方式使寻边器向工件基准面移动靠近，让测量端接触基准面。在测量端未接触工件时，固定端与测量端的中心线不重合，两者呈偏心状态。当测量端与工件接触后，偏心距减小，这时使用点动方式或手轮方式微调进给，寻边器继续向工件移动，偏心距逐渐减小。当测量端和固定端的中心线重合的瞬间，测量端会明显偏出，出现明显的偏心状态，这时主轴中心与工件基准面的距离等于测量端的半径。

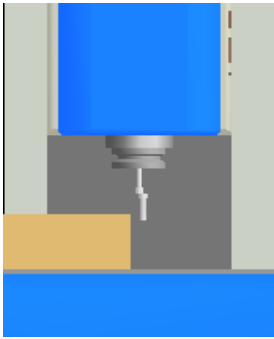











图 3.58

① X 轴方向对刀。

a. 单击操作面板中的  按钮，进入“手动”方式。

b. 单击 X 按钮，选择 X 轴为移动轴；单击 Y 按钮，选择 Y 轴为移动轴；单击 Z 按钮，选择 Z 轴为移动轴；单击 + 或 - 按钮让机床在选中的移动轴正方向或负方向连续进给；适当单击上述按钮，将机床移动到如图 3.58 所示的大致位置；再单击  或  按钮转动主轴，寻边器大幅度晃动；此时可采用点动方式精确移动机床。分别单击操作面板的“点动距离” 、、、、、 按钮，配合 +、- 按钮移动机床，寻边器上下部分偏心程度

逐渐减小，直至基本同心，如图 3.59 所示。若此时再进行点动方式的小幅度进给，寻边器下部会突然大幅度偏移，如图 3.60 所示。如果此时的点动距离为 0.001 mm，那么基准工具的中心线与基准面的距离恰好是寻边器下端的半径。

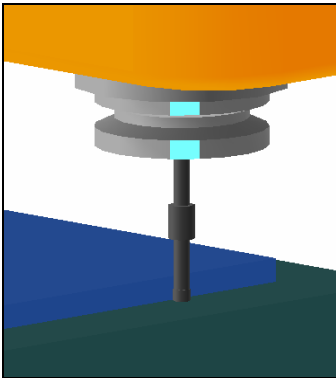


图 3.59

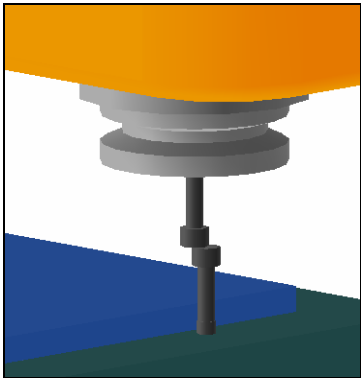


图 3.60

c. 记下此时机床坐标系中的 X 坐标，即为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1；工件坐标系原点到零件 X 方向基准边的距离记为 X2；将基准工件直径记为 X3（可在选择基

准工具时读出，寻边器的直径为 10 mm) 则工件坐标系原点的 X 坐标为 $X1-X2-X3/2$ ，结果记为 X。







也可以采用手轮方式移动机床。这句话表示此步骤可在①手动方式②手转方式下完成。



② Y 方向对刀采用同样的方法。得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y。

③ 完成 X，Y 方向对刀后，需将基准工具收回。具体操作步骤同上。

④ Z 轴对刀。铣床和加工中心的 Z 轴对刀采用的是实际加工刀具。以下分别介绍 FANUC Oi 系统和 SIEMENS-810D 系统中 Z 轴对刀的具体步骤。

(3) FANUC Oi 系统。

① 塞尺检查法。单击菜单“机床/选择刀具”或单击工具条上的按钮，选择所需刀具；装好刀具后，利用操作面板上的、、按钮和、按钮，将机床移到如图 3.61 所示的大致位置，直至得到“塞尺检查：合适”的提示时，将此时 Z 的坐标值记为 Z1，如图 3.62 所示。则工件坐标系原点的 Z 坐标值为 Z1 减去塞尺厚度。

② 试切法。单击菜单“机床/选择刀具”，选择所需刀具；将机床移到如图 3.61 的大致位置，使主轴转动，单击操作面板上的和按钮，刀具一接触到工件，即停止主轴转动，此时 CRT 上所显示的 Z 坐标，即为工件坐标系原点的 Z 坐标值，记为 Z。

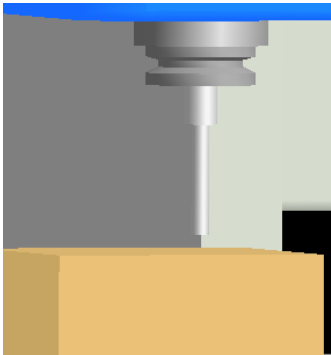


图 3.61

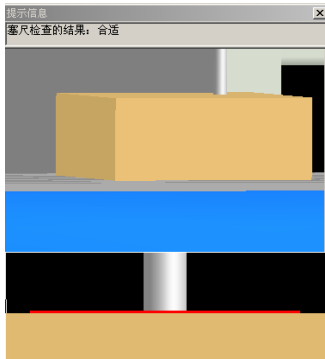


图 3.62

通过对刀得到的坐标值 (X，Y，Z)，即为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

(4) SIEMENS-810D 系统。该系统的 Z 轴对刀方式也有塞尺检查法和试切法两种，其基本操作方法同 FANUC Oi 系统。

3.4.6 NC程序错误及其处理

1. 错误检查

打开菜单“机床/检查 NC 程序”，弹出如图 3.63 所示对话框。在“选择 NC 程序”下拉式列表中选择被检查程序。

单击“开始检查”按钮，检查结果显示在下面；单击“退出”按钮关闭对话框；改正错

误后，再次检查，直到没有错误报告为止。

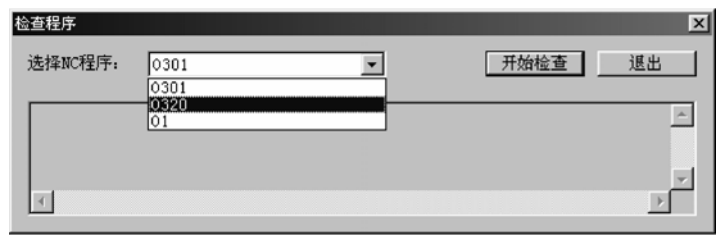


图 3.63

2. 运行中的错误信息处理

关闭出错信息对话框；在数控系统操作面板上按“RESET”键，修改错误。错误信息如表 3-1 所示。

表 3-1 错误信息

故障号	属性	内容
3	FM/T	输入数据超过允许范围（按最大值执行）
4	FM/T	在一个单节开始没有地址，直接出现“—”或数字（修改程序）
5	FM/T	地址后面无数据，出现下一个地址或者 EOB 代码（修改程序）
6	FM/T	输入了不允许的“—”或者出现两个“—”（修改程序）
7	FM/T	输入了不允许的“•”或者出现两个“•”（修改程序）
9	FM/T	输入了不被使用的文字（修改程序）
10	FM/T	输入了 FANUC 系统不使用的 G 代码（修改程序）
10-1	FM/T	输入了 FANUC 系统使用,但是本软件还没有支持的 G 代码
11	FM/T	在切削指令中没有进给速率或者速率不合适（修改程序）
15	FM/T	指令轴数超过允许同时控制轴数
20	FM/T	起点半径和终点半径之差超过规定值
27	FM/T	有 G43/G44 的 BLOCK 中没有指定轴，或者原先指定的长度补偿没有取消，指定了其他轴的长度补偿（修改程序）
29	FM/T	刀具补偿量太大（修改程序）
30	FM/T	刀具偏置号太大（修改程序）
33	FM/T	在刀补中没有求到交点（修改程序）
34	FM/T	刀补指令开始或者结束在 G02/G03 上（修改程序）
37	FM/T	在刀补没有撤销前，变更工作平面（修改程序）
38	FM/T	圆弧的起点或者终点与圆心重合（修改程序）
41	FM/T	刀补中连续两个或者两个以上指令不移动（修改程序）
43	FM/T	没有在 M06 的同时指定 Txx，或者 Txx 无效
44	FM/T	在固定循环中指定了 G27~G30 之间的一个代码（修改程序）
61	FT	在 G70, G71, G72, G73 的程序段中，P 和 Q 都没有被指定

故障号	属性	内容
62	FT	在 G71, G72 中切入量为零或者负值 在 G73 中重复次数为零或负值 在 G74, G75 中 Δi , Δk 为负值 在 G74, G75 中虽然 Δi 或 Δk 为零, 但是 U 或 W 不是零 在 G74,G75 中, 虽然决定了退刀方向, 但是 Δd 为负数 在 G76 中,指令了螺纹的高度及第一次的切入量为零 在 G76 中最小切入量比螺纹高度值大 在 G76 中刀尖的角度为不能使用的值
63	FT	在 G70, G71, G72, G73 中没有找到用 P 指定的顺序号
65	FT	在 G71, G72, G73 中, 用 P 指定的程序段, 不能指令 G00 或者 G01 在 G71, G72 中用 P 指定的程序段, 指令了 Z (W) (对于 G71), X (U) (对于 G72)
66	FT	在 G71, G72, G73 中, 用 P 指定的程序段之间, 指令了不允许的 G 代码
74	FM/T	程序号超出范围 (1~9999) (修改程序)
76	FM/T	子程序调用 (M98) 的程序段中没有地址 P (修改程序)
78	FM/T	没有找到在 M98, M99, M65, M66 的程序段中用 P 指定的程序号或者顺序号

3.5 软件的教学功能

3.5.1 授课功能

启动教师机和学生机上的“数控加工仿真系统”，此时即为“授课状态”，屏幕的右下角显示 **授课状态**。此时，教师机可以自由操作，学生机将跟随教师机动作。

授课状态下，教师可控制学生机鼠标，选中菜单“**互动教学\鼠标同步**”，则学生机与教师机鼠标同步；再次单击“互动教学\鼠标同步”，取消同步。

在授课过程中，学生机数控加工仿真系统如果重新启动，学生机将重新快速跟随教师机操作直到与教师同步。

1. 自由练习

(1) 进入“自由练习”状态。单击菜单“**互动教学\自由练习**”即进入自由练习状态，此时学生机可以自由操作。右下角显示 **自由练习**。

(2) 退出“自由练习”状态，回到“授课状态”。单击菜单“**互动教学\结束自由练习**”，即回到“授课状态”。

2. 观察学生当前操作

(1) 使用“观察学生当前操作”。在“自由练习”状态下，教师单击菜单“**互动教学\观察学生当前操作**”，弹出如图 3.64 所示的对话框。

选择“是”则重新搜索在线的学生机，选择“否”则使用上一次搜索到的在线的学生机。弹出如图 3.65 所示的对话框。

选择需要查看的学生机的编号，单击“确定”按钮。此时进入“观察学生操作”状态，教师机将跟随学生机操作，供教师观察。

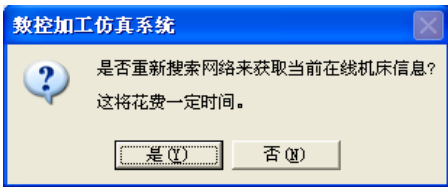


图 3.64




图 3.65









(2) 退出“观察学生当前操作”状态。使用键盘快捷方式：Alt+R，弹出“互动教学”菜单，使用方向键，选中“结束观察当前操作”，恢复到自由练习状态。也可以直接选取“结束自由练习”，退出自由练习状态，观察操作也将同时结束。

3.5.2 操作回放功能

利用操作回放功能将使用仿真软件模拟的零件加工过程进行放映。

(1) 将教师机的加密锁属性改为“考试状态”，屏幕的右下角显示“考试状态”。在此状态下建立的项目文件中，会自动生成一个 SAVE 文件夹，其中的*.opi 文件即记录了所做的零件加工过程。

(2) 打开菜单“文件/演示”，在弹出的“打开”对话框中打开已记录下的文件，界面右上角增加了一些按钮 ，用于查看演示过程。

-  “播放”按钮：从当前位置起，按指定的速度播放所有操作，其对应快捷键为“↑”；
-  “快进”按钮：快速查看操作记录。
-  “加快播放速度”按钮（在播放和快进状态下有效）。
-  “放慢播放速度”按钮。
-  “倒退”按钮：回到操作记录的起始位置。
-  “循环播放”选项按钮。
-  “退出”按钮。
-  “暂停”按钮。

播放过程中，按住“Shift”键即可控制鼠标的操作。

3.5.3 考试功能

本软件可以进行模拟操作考试，考试前将加密锁设置为考试状态，考试时仿真系统自动记录考生操作过程，保存项目文件。考试结束教师可以查询、回放考生的操作过程，导出程序或项目文件。如果系统设置中选择了自动评分，教师还可以在考试前设置评分标准和标准工件的尺寸，在交卷的同时完成自动阅卷。

1. 设置考生账号

在设置考生的用户名和密码之前先要通过管理员的账号登录本软件。

系统初始管理员用户名：**manage**，密码：**system**。以此账号登录数控加工仿真系统，菜单选择“**系统管理\用户管理**”，弹出如图 3.66 所示的“用户管理”对话框。



图 3.66

用户基本信息包括考生的用户名（登录名）、密码、姓名、单位。

涉及的用户权限包括以下几个方面。

修改评分标准：修改考试用的评分标准权限。

成绩查询：查询考试成绩的权限。

用户管理：可以进入用户管理对话框，添加、修改用户和批量添加用户的权限。

注意：管理员特指拥有以上四个权限的用户。

2. 填加考生用户

进入用户管理对话框，如图 3.66 所示，单击“添加用户”按钮，即可以进行用户基本信息的输入。

输入基本信息：用户名、密码、姓名、单位，对话框右侧用户列表中将新增所输入的用户信息。

用户权限的添加：在用户权限的对话框中有左右两个对话框，右边的为该考生可供选择的权限，左边的为该考生已拥有的权限。

用户权限的删除：从左框中选择所要删除的权限，然后单击“删除->>”按钮，则该用户已不拥有此权限，并且该权限又被放入到右框中。

最后单击“保存”按钮，系统将所输入的用户信息保存起来。

3. 修改/删除用户

进入用户管理对话框，见图 3.66，在右侧列表中选择想删除的用户，可在用户基本信息框中修改相应内容，或单击“删除用户”按钮删除所选中的用户，随后单击“保存”按钮使其生效。或者可以同时选中多个用户并单击“删除用户”按钮以删除多个用户。

进入评分标准对话框包括两个选项卡。第一张选项卡“评分标准”用来制订操作评分规则，如图 3.69 所示；第二张选项卡“铣床/车床工件”用来设定标准工件的尺寸，如图 3.70 所示。



图 3.69

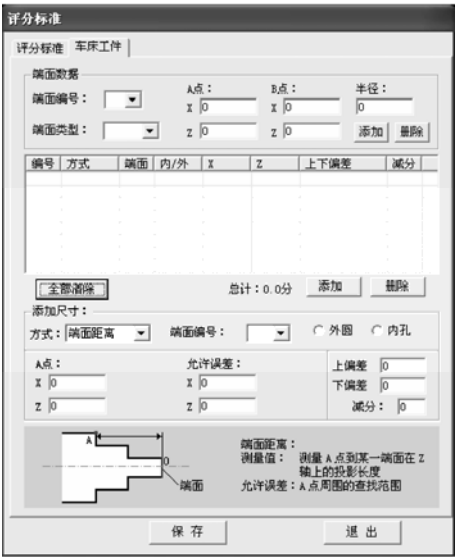


图 3.70

6. 评分标准选项卡
- 考生成绩从两部分进行扣除：操作扣分和工件扣分。
- (1) 操作扣分：本软件可以从操作的规程制定来考核考生的操作是否规范。操作规程主要有碰撞、安装刀具、安装零件、更换零件四个方面评判考生操作，详细内容如下：
- 移动机床时产生碰撞每次扣__分；
- 安装刀具时产生的错误每次扣__分；
- 安装零件时产生的错误每次扣__分；
- 更换零件每次扣__分。
- 在这 4 栏规程后，均有各扣分上限表示次项的扣分上限。例如，操作机床产生一次碰撞提示后，扣分为所设置的数值，如多次碰撞系统会自动扣除分数，但其最高扣分为所设置的减分上限值，其他减分上限类同。在操作规程中有减分上限一栏表示该操作规程中的所有扣分上限值。该减分上限优先于以上 4 项减分上限的总和。例如，减分上限为 30 分，而操作规范的四项减分上限总和为 50 分，则系统扣分总数为 30。
- (2) 工件质量：表示所要评分的工件是铣床工件还是车床工件以及针对铣床的每项尺寸超差扣分值。
- 总分为所选机床的总分，若工件类型为车床工件，则车床工件最后得分为此所设总分值减去工件扣分和操作扣分的总和；铣床类同。
- (3) 考试时间控制：对考试时间的限制以及是否自动收卷、超时扣分情况。例：如图 3.69

所设置的，如果考生可用时 150 分钟，如超过 10 分钟将在操作规程总分中减 4 分。

注意：拥有“修改评分标准”权限的用户才能设置评分标准。

(4) 工件扣分：评判考生加工出的零件是否符合所要求的标准工件尺寸。

7. 工件尺寸（车床）

设置车床评分标准前，老师应先按图纸要求加工出“标准零件”，交卷时软件将以该标准零件上所设置的尺寸为每个考生的工件给予评分处理。教师以管理员的身份登录本软件，随后选择机床进行标准工件的加工，加工完后依次单击菜单栏上的“互动教学\评分标准”，然后选择“车床工件”，并选择车床工件选项卡进入到如图 3.71 所示的界面。

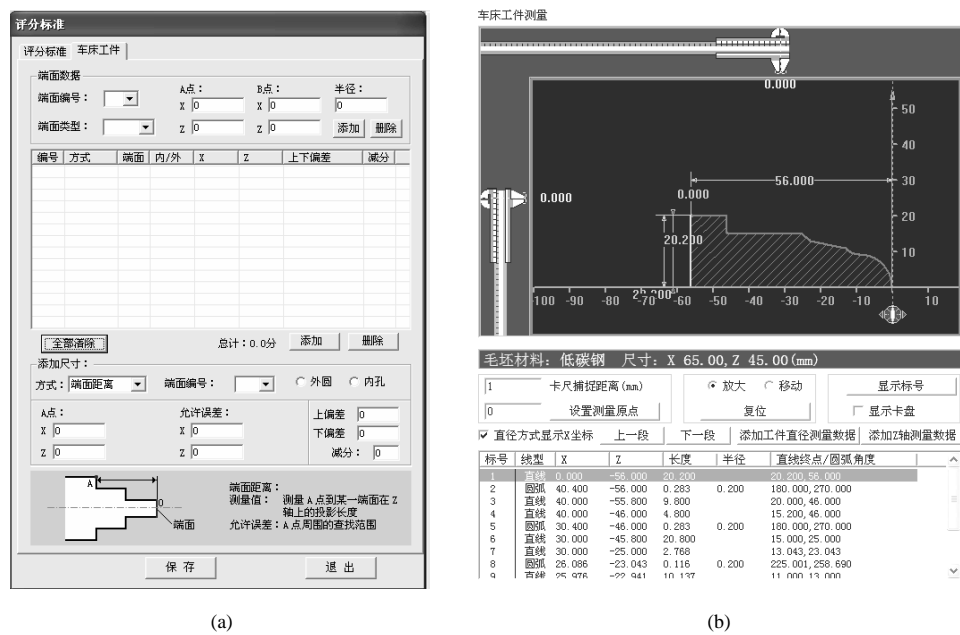


图 3.71

进入车床工件选项卡后，首先要设置标准工件的端面数据，端面数据是为了将学生提交的零件和该标准零件对齐。

- (1) 设置基准端面数据的方法如下：
 - ① 在端面数据栏中，选择端面编号。端面编号分 1 号和 2 号表示根据几个基准端面来测量（通常设定一个端面，1 号端面编号即可）
 - ② 选择端面类型，端面类型分为“直线”“圆弧”，在此例中，选择“圆弧”
 - ③ 用鼠标在图 3.71（b）中单击将要设置的基准端面，使之呈黄色。
 - ④ 单击图 3.71（b）中的“添加 Z 轴测量数据”按钮，在左下角处会显示 A 点及 B 点的坐标值和半径值。
 - ⑤ 将 A 点及 B 点的坐标值写到“端面数据”栏所对应 A、B 两栏中，再输入半径值，然后单击“更改”按钮，即将此端面数据保存起来了。

在该例中进行此操作则将左侧端面设置成为基准端面。基准端面设置完后，则可以进行评分项的设定了，目前的软件中提供可以对轴类零件的工件直径、相对距离、端面距离以及圆弧半径进行评定设置。

(2) 设置测量工件直径。首先在图 3.71 (a) 中的“添加尺寸”栏中选择“工件直径”，然后用鼠标单击将要设置评分的外圆或内孔线段，最后单击图 3.71 (b) 中的“添加工件直径测量数据”按钮。系统会自动将数据添加到图 3.71 (a) 中的评分标准输入区域中。此时我们只需根据实际情况和要求设置偏差大小及扣分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮。则该外圆直径将被设置成为评分项。“允许误差”Z 方向表示该方向上所设测定点的查找范围。

(3) 设置测量相对距离。在图 3.71 (a) 中的“添加尺寸”栏中选中“相对距离”，然后用鼠标在图 3.71 (b) 中单击将要设置评分的外圆或内孔线段图，最后单击图 3.71 (b) 中的“添加 Z 轴测量数据”按钮。系统会自动将数据添加到图 3.71 (a) 中的评分标准输入区域中。此时我们只需根据需要设置偏差大小及扣分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮。则该线段长度将被设置成为评分项。“允许误差”X、Z 表示该方向上所设测定点的查找范围。

(4) 设置测量圆弧半径。在图 3.71 (a) 中的“添加尺寸”栏中选中“圆弧半径”，然后用鼠标单击将要设置的圆弧段，最后单击图 3.71 (b) 中的“添加 Z 轴测量数据”按钮。系统会自动将数据添加到图 3.71 (a) 中的评分标准输入区域中。此时我们只需根据需要设置偏差大小及扣分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮。则该圆弧段将被设置成为评分项。“允许误差”X、Z 表示该方向上所设测定点的查找范围。

(5) 设置测量端面距离。在图 3.71 (a) 中的“添加尺寸”栏中选中“端面距离”，然后用鼠标单击将要设置评分的端面，最后单击图 3.71 (b) 中的“添加 Z 轴测量数据”按钮。系统会自动将数据添加到图 3.71 (a) 中的评分标准输入区域中。此时我们只需根据需要设置偏差大小及扣分值即可，设置完成后，单击“添加”按钮。则该圆弧段将被设置成为评分项。“允许误差”X、Z 表示该方向上所设测定点的查找范围。

按照标准零件设置完评分规则后，单击“保存”按钮，再单击“退出”按钮退出评分标准窗口。

8. 工件尺寸（铣床）

设置铣床评分标准之前也同样应先按图纸要求加工出“标准零件”，交卷时将软件以该标准零件上的设置的尺寸为每个考生的工件给予评分处理。教师选择机床进行标准工件的加工，加工完后依次单击菜单栏上的“互动教学\评分标准”，然后选择“铣床工件”，并选择铣床工件选项卡进入到如图 3.72 所示的界面。

进入铣床工件选项卡后就可以对标准工件进行评分项的设定了，目前软件有自动输入测量尺寸和手动输入测量尺寸的方式。

(1) 自动测量尺寸输入。软件提供了内卡和外卡工具通过测量剖面图对铣床零件尺寸进行自动测量，测量的方式有外卡线测、外卡点测、内卡线测、内卡点测，以此来设定评分标准。

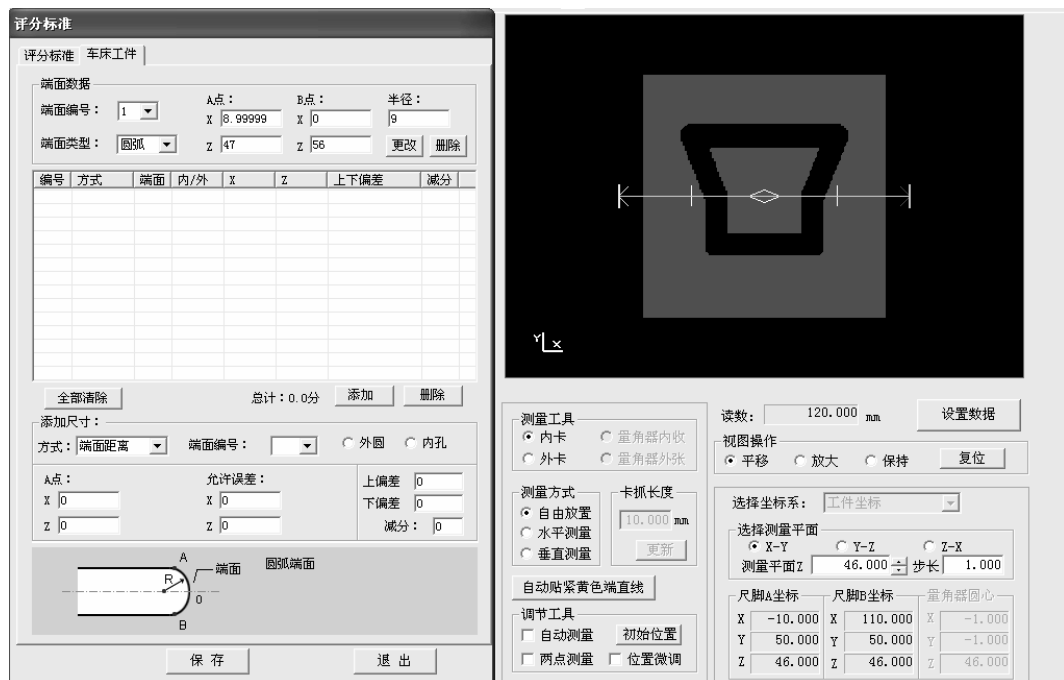


图 3.72

① 测量窗口。

- a. 测量工具：可根据卡尺调节的位置自动测量工件的尺寸，主要有内卡、外卡。
- b. 测量方式：可以手动调节卡尺的位置，主要有自由位置、水平测量、垂直测量。
- c. 调节工具。
- d. 自动测量：自动计算卡尺两 endpoint（或卡抓）之间的距离。
- e. 两点测量：卡尺卡抓以点的方式来测量，简称点测。
- f. 位置微调：可以用鼠标拖动卡尺两端进行微调。
- g. 视图操作：可以对测量图进行放大、缩小以及复位。

h. 测量平面：可以根据需要选择想要测量的平面，三维工件中会使用一绿色平面（以下简称测量剖面）将该所测的平面进行剖面显示，调节测量平面 Z（或测量平面 X、测量平面 Y）可以调节它的剖面显示，用户可以方便地使用卡尺来进行测量。测量平面主要有 X-Y 面、Y-Z 面、以及 Z-X 面。

② 外卡（内卡）线测。首先用鼠标选择所要测量的平面并根据需要调节测量剖面的位置，然后使用鼠标将卡尺大致移动到想要测量的位置，接着从“测量工具”中选择“外卡（内卡）”以及根据实际需要选择测量方式（自由放置、水平测量、垂直测量），最后单击“调节工具”中的自动测量，系统则自动按照所选测量方式将卡尺的两端贴近工件并且在读数栏中显示出卡尺所测出的距离，如图 3.73 所示，单击“设置数据”按钮，外卡线测数据就显示在左面框中，如图 3.74 所示。

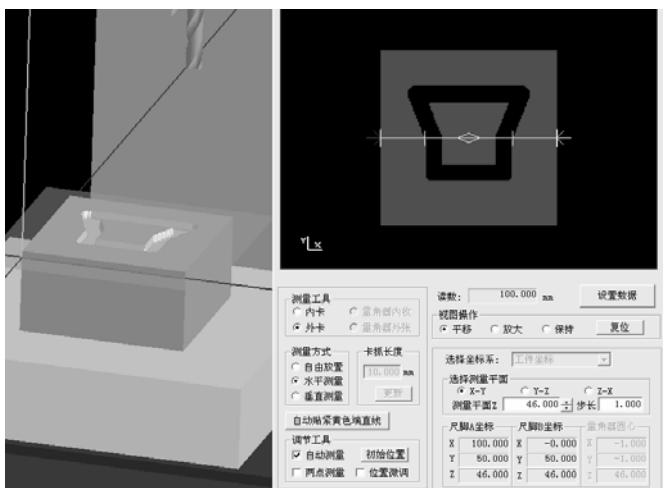


图 3.73

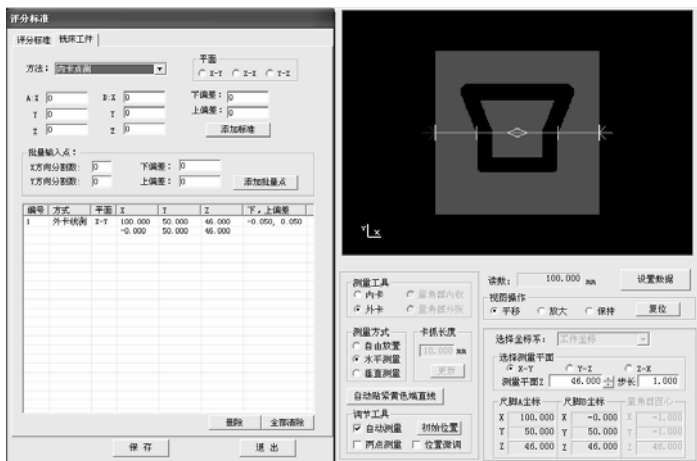


图 3.74

③ 外卡（内卡）点测。外卡（内卡）点测可用于测量某些由于卡尺卡爪长度的原因难以测量的位置，其测量方法和外卡线测类似。用鼠标选择所要测量的平面并适当地调节测量剖面位置，然后使用鼠标将卡尺大致移动到想要测量的位置，从“测量工具”中选择“外卡（内卡）”以及测量方式（自由放置、水平测量、垂直测量），选中“调节工具”中“两点测量”并单击“自动测量”复选框，系统则自动将卡尺的两端点贴近工件并且在读数栏中显示出卡尺所测出的距离，如图 3.75 所示，单击“设置数据”按钮，外卡点测数据就显示在左边框中，如图 3.76 所示。

（2）手动测量尺寸输入。本软件除了可以对测量图进行内卡、外卡的自动测量外，还提供了手动设置测量的方式，目前主要提供了测量的方式有外卡线测、外卡点测、坐标测量、深度测量。

① 外卡（内卡）线测、外卡（内卡）点测的尺寸输入。从“方法”中选择相应的测量方式（内卡线测、内卡点测、外卡线测、外卡点测），随后从平面中选择所要测量的平面，在 A、B 两栏中输入卡尺的两端点坐标值以及上下的偏差值，最后单击“添加标准”按钮即可。

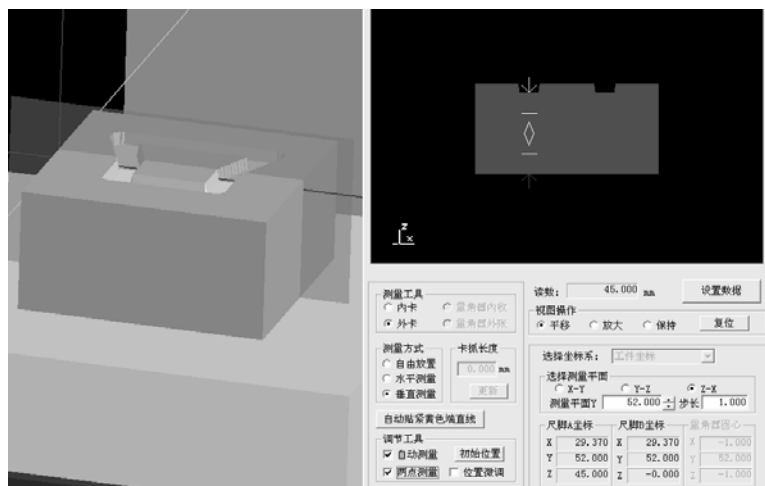


图 3.75

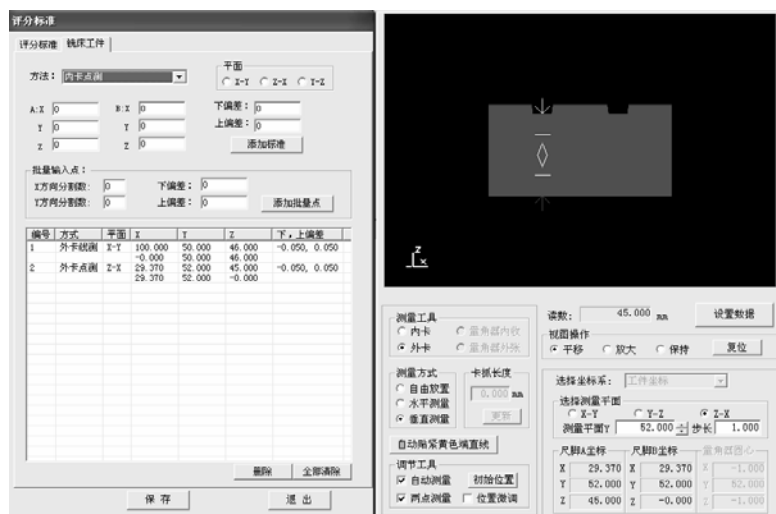


图 3.76

② 坐标测量的输入。坐标测量表示考生提交的工件与从标准工件所设定的某个点的坐标进行对比判断该点是否存在；从“方法”中选择“坐标测量”，随后在 A 点（所测量的点）栏中输入该点的坐标值，以及根据需要设置上下偏差值，最后单击“添加标准”按钮即可。

③ 深度测量的输入。深度测量表示软件会根据定点的 X、Y 位置来判断此处的 Z 方向的值是否达到。从“方法”中选择“深度测量”，然后在 A 点栏中输入所需测量点的 XY 平面的位置，随后在上面和下面输入所要测的点 Z 向值以及根据需要设置上下偏差值，最后单击“添加标准”按钮即可。

④ 批量测量点的输入。批量测量点简而言之就是将一个零件通过所设置的分割数将标准工件分割成 $(M+1) \times (N+1)$ 个点，通过这些点来判断考生的工件是否符合标准要求，此功能适合于设定曲面零件时的评分尺寸。设置时只需在 X 方向分割数和 Y 方向分割数栏中输入

具体分割值以及上下偏差值，最后单击“添加批量点”按钮即可，如图 3.77 所示。

注意：在手动测量尺寸输入时，所有输入的坐标值都必须以零件左下角为坐标系零点。

9. 考试

教师将加密锁管理程序设置为“考试”状态，如图 3.78 所示。

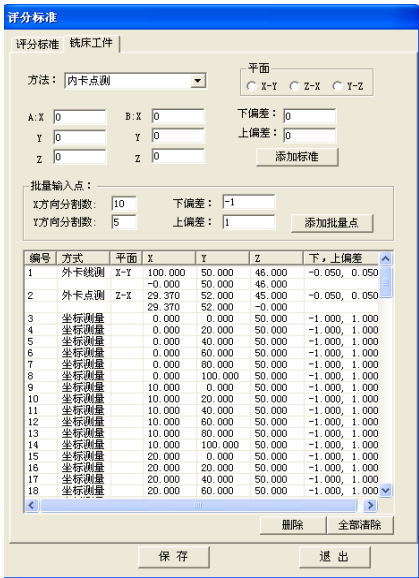


图 3.77



图 3.78

如果在系统设置中选择了自动评分，需设好评分标准（详见 3.5.3 节），再开始考试。考生开始考试时将采用最近一次设置的评分标准。考试过程如下：

（1）考生根据自己的用户名和密码登录数控加工仿真系统后，进入选择机床界面，选好机床开始考试，状态栏显示“正在考试”，仿真软件总在窗口最上面，并开始计时。

（2）考生加工好零件完成考试后，单击菜单“互动教学\交卷”完成考试，系统自动将学生的考试结果提交给教师机，如果评分标准中“超时 XX 分钟自动交卷”一项选中，考试时间结束考生仍未交卷的，仿真系统将自动收卷。

（3）如果系统设置选中“交卷之后弹出禁止继续操作对话框”，则交卷完成后，系统将弹出“交卷成功”的对话框，输入管理员身份密码方能退出该系统。

注意：考生需要确保交卷所加工的零件仍保留在机床上，否则自动评分时工件成绩将为零分。

10. 查询

有“成绩查询”权限的用户可以查看所有考生的成绩，否则只能看到自己的成绩。单击菜单“互动教学\查询”，弹出对话框如图 3.79 所示。

更改“选择考试”的起止时间，列表将列出该时间段内的所有考试人次以及成绩。选择某个考生，单击“详细信息”按钮后系统将弹出该考生的考试情况的对话框，如图 3.80 所示。



图 3.79

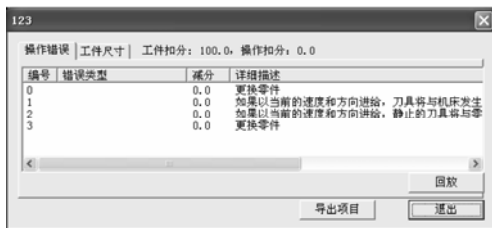


图 3.80

单击“导出项目”按钮，系统弹出“选择目录”对话框，可将该考生的考试过程及结果保存至用户指定的目录中，单击“确定”按钮后导出考试项目到该目录，如图 3.81 所示。

(1) 查询详细信息。在“考试查询”对话框中单击“详细信息”按钮弹出对话框，见图 3.80。

两张选项卡分别显示操作过程中减分细项和工件尺寸信息。

① 操作错误选项卡。“操作错误”中列出了错误在整个操作中的位置（错误类型）、详细描述以及减分情况，见图 3.80。

在“操作错误”选项卡中选择某条错误，单击“回放”按钮，系统将回放该考生操作到此错误的位置；如果不选中任何一条错误，单击“回放”按钮，系统将回放从考生开始至结束的整个过程。

在回放过程中窗口界面右上角会显示 按钮，方便用户进行查看操作的调节。

“播放”按钮：从当前位置起，按指定的速度播放所有操作。

“快进”按钮：快速查看操作记录。

“加快播放速度”按钮：在播放和快进状态下有效。

“放慢播放速度”按钮：在播放和快进状态下有效。

“倒退”按钮：回到操作记录的起始位置。

“循环播放”选项按钮。

“退出”按钮。

“暂停”按钮。（单击“播放”或“快进”，按钮即变为“暂停”）

播放过程中，按住“Shift”键即可控制鼠标的操作。

② 工件成绩选项卡。工件成绩中显示考生加工的零件按照评分标准比对所得的误差和减分情况，如图 3.82 所示。

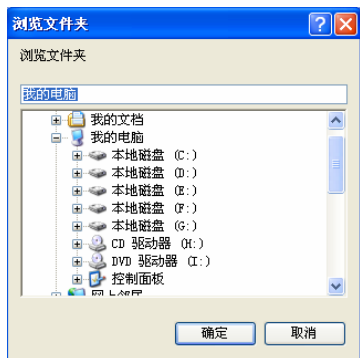


图 3.81



图 3.82

(2) 导出程序。选择菜单“**互动教学\导出程序**”，系统将弹出导出程序的对话框，如图 3.83 所示。

① 选择考试日期。单击“考试日期”下拉列表，弹出日期选择框，如图 3.84 所示。单击日历选择某一天，月份上的左右按钮可以调节月份。选好日期后单击“列出考生”按钮，考生列表中 will 列出这一天参加考试的所有考生。



图 3.83

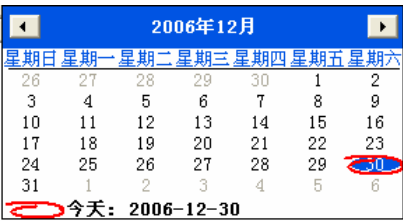


图 3.84

② 选择需要导出程序的考生。在左侧列表选择需要导出的考生程序，单击“>>”按钮，添加到右侧“需要导出的考生程序”列表。或者单击“全部>>”按钮，全部添加到右侧列表中。也可以向相反方向剔除不需要导出程序的考生。

③ 导出程序。单击“导出...”按钮，弹出“选择目录”对话框，选择需要导出到的目录即可。如果一考生在同一天参加了两次考试，将导出他这一天最后一次的考试。

④ 单击“退出”按钮，退出对话框。

习 题 3

- 3.1 试安装宇龙仿真软件，并检测教师机与学生机的通信状况。
- 3.2 试在 FANUC Oi 系统仿真软件中建立一个项目文件，并保存。
- 3.3 简述仿真软件中车、铣刀具的选用步骤。
- 3.4 试述 FANUC Oi 系统与 SIEMENS-810D 系统车床对刀步骤的异同。
- 3.5 试述 FANUC Oi 系统与 SIEMENS-810D 系统铣床对刀步骤的异同。
- 3.6 试分别建立车床、铣床考试题库。

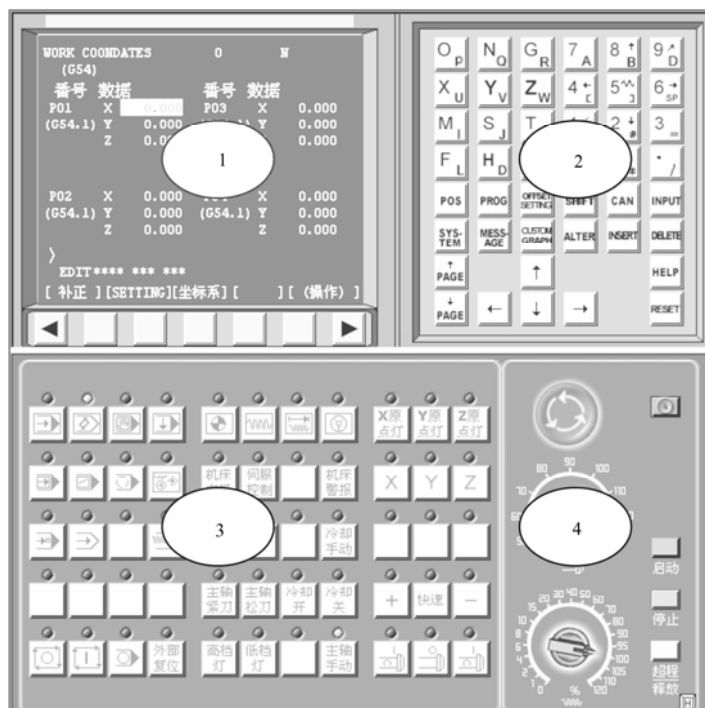
第 4 章 FANUC 0i 系统

内容提要

机床操作。数控程序处理。参数设置。FANUC 0i 车床仿真。FANUC 0i 铣床仿真。

4.1 机床基本操作

本节主要通过仿真软件在 FANUC 0i 系统机床上模拟训练各项操作。FANUC 0i 系统的控制面板如图 4.1 所示，主要由 CRT 面板、MDI 键盘、机床操作面板、控制箱四部分组成。



1—CRT 面板；2—MDI 键盘；3—机床操作面板；4—控制箱



图 4.1


4.1.1 自动和手动加工方式

1. 自动/连续方式



(1) 自动加工。

- ① 检查机床是否回零。若未回零，先将机床回零。
- ② 导入数控程序或自行编写一段程序。



③ 检查“自动运行”指示灯是否亮，若未亮，单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮。

④ 单击“循环启动”按钮，程序开始执行。

(2) 中断运行。数控程序在运行过程中可根据需要暂停、停止、急停和重新运行。

① 数控程序在运行时，单击操作面板上的“暂停”按钮，程序停止执行；再单击“循环启动”按钮，程序从暂停位置开始执行。

② 数控程序在运行时，单击“停止”按钮，程序停止执行；再单击“循环启动”按钮，程序从开头重新执行。



③ 数控程序在运行时，单击“紧急停止”按钮，数控程序中断运行，继续运行时，先将“紧急停止”按钮松开，单击“循环启动”按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。


2. 自动/单段方式


(1) 操作步骤如下：

① 检查机床是否回零。若未回零，先将机床回零。


② 导入数控程序或自行编写一段程序。

③ 检查“自动运行”指示灯是否亮，若未亮，单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮。


④ 单击操作面板上的“单节”按钮。



⑤ 单击操作面板上的“循环启动”按钮，程序开始执行。


(2) 操作中注意事项。

① 自动/单段方式执行每一行程序时，均需单击一次“循环启动”按钮。

② 单击“单节跳过”按钮，则程序运行时跳过符号“/”有效，该行成为注释行，不执行。

③ 单击“选择性停止”按钮，则程序中 M01 有效。

④ 可以通过“主轴倍率”旋钮和“进给倍率”旋钮来调节主轴旋转的速度和移动的速度。


⑤ 单击 MDI 键盘上的“重置”按钮，可将程序重置。


3. 手动/连续方式

(1) 单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯亮，机床进入手动加工模式。

(2) 分别单击 X、Y、Z 按钮，选择移动的坐标轴。

(3) 分别单击 +、- 按钮，控制机床的移动方向。

(4) 单击按钮控制主轴的转动和停止。

加工过程中刀具与零件发生非正常碰撞后（非正常碰撞包括车刀的刀柄与零件发生碰撞，铣刀与夹具发生碰撞等），系统弹出“警告”对话框，同时主轴自动停止转动。调整到适当位置后，继续加工时需再次单击按钮，使主轴重新转动。

4. 手动脉冲方式

在手动/连续加工或在对刀时，可使用手动脉冲方式精确调节机床移动量。






(1) 单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使指示灯变亮。







图 4.2


(2) 单击“显示手轮”按钮，显示手轮，如图 4.2 所示。

(3) 鼠标对准手轮对应的“轴”旋钮，单击左键或右键，选择需要移动的坐标轴。

(4) 鼠标对准手轮“进给速度”旋钮，单击左键或右键，选择合适的进给倍率。

(5) 鼠标对准“手轮”旋钮，单击左键机床向负方向移动，单击右键机床向正方向移动。

(6) 单击按钮控制主轴的转动和停止。

(7) 单击“隐藏手轮”按钮，可隐藏手轮。

4.1.2 MDI模式

(1) 单击操作面板上的 MDI 按钮，使其指示灯变亮，进入 MDI 模式。

(2) 在 MDI 键盘上单击程序按钮 **PROG**，进入编辑页面。

(3) 单击数字/字母键键入字母“O”，再键入程序编号，该程序编号不能与已有程序编号重复；单击换行按钮 **EOB**，结束一行的输入后换行。

(4) 移动光标：单击 **PAGE** **PAGE** 按钮上下方向键翻页；单击方位 **↑** **↓** **←** **→** 按钮移动光标。

(5) 单击键盘上 **INSERT** 按钮，输入所编写的数据指令。

(6) 用 **RESET** 按钮清除输入的数据；单击 **CAN** 按钮，删除输入域中的数据；单击 **DELETE** 按钮，删除光标所在的代码；在输入键盘上单击数字/字母键，可以进行取消、插入、删除等修改操作。


(7) 输入完成数据指令后，单击操作面板上的“循环启动”按钮运行程序。

4.1.3 轨迹模式

NC 程序导入后，可进行运行轨迹的检查。

(1) 单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮，转入自动加工模式。



(2) 单击 MDI 键盘上的程序按钮 **PROG**；单击数字/字母键，输入“Ox”（x 为所需要检查运行轨迹的数控程序编号），单击 **↓** 按钮开始搜索所需要检查轨迹的程序编号，找到后，程序显示在 CRT 界面上。


(3) 单击图形按钮 **GRAPH**，进入检查运行轨迹模式；单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹。


(4) 可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察。

4.1.4 回零模式





(1) 单击“启动”按钮，此时机床电机和伺服控制的指示灯变亮。






(2) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

(3) 检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指

示灯不亮，则单击“回零”按钮，转入回原点模式。

(4) X、Y、Z 轴回零。

① 在回原点模式下，先将 X 轴回原点。单击操作面板上的 X 轴按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击按钮，此时 X 轴将回原点，当 X 轴回原点灯变亮时，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”（车床变为 390.00）。

② 同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向移动按钮、，使指示灯变亮，单击按钮，Y 轴、Z 轴将回原点，Y 轴、Z 轴回原点灯、变亮。

此时 CRT 界面如图 4.3 所示。

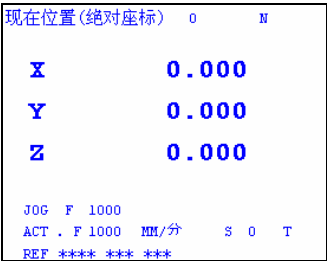





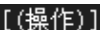




图 4.3 铣床回零后 CRT 界面

4.2 数控程序处理

4.2.1 导入数控程序

数控程序可以通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，也可直接用 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘输入。

1. 方法一

单击操作面板上的“编辑”按钮，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的程序按钮，CRT 界面转入编辑页面。再单击软键，在出现的子菜单中单击软键，出现软键，单击该软键，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，如图 4.4 所示。单击“打开”按钮，完成数控程序的导入，在同一菜单级中，单击软键，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“ox”(x 为任意不超过四位的数字)，单击软键，则数控程序显示在 CRT 界面上。

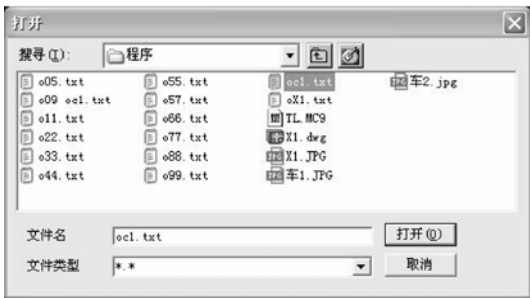




图 4.4

2. 方法二

单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的程序按钮使



CRT 界面转入编辑页面。单击“机床/DNC 传送...”菜单，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，如图 4.4 所示。单击“打开”按钮确认。单击软键[(操作)]，在出现的子菜单中单击软键[READ]，单击此软键，再单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“ox”(x 为数控程序编号)，单击软键[EXEC]，则数控程序显示在 CRT 界面上。

注：软键在 CRT 界面下方，与 CRT 界面上的提示相对应，如图 4.5 所示。



图 4.5

4.2.2 数控程序管理

(1) 显示数控程序目录。导入数控程序后，单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的程序按钮，CRT 界面转入编辑页面。单击软键[LIB]，经过 DNC 传送的数控程序名显示在 CRT 界面上。如图 4.6 所示。

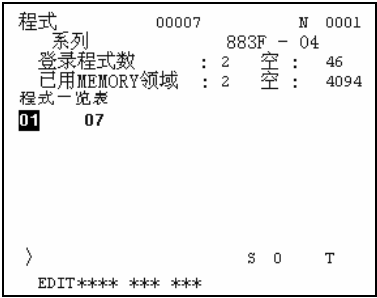













图 4.6

(2) 选择数控程序。单击 MDI 键盘上的程序按钮，CRT 界面转入编辑页面。利用 MDI 键盘输入“ox”(x 为数控程序目录中显示的程序号)，单击按钮开始搜索，搜索到指定数控程序后，“OXXXX”显示在屏幕首行程序编号位置，NC 程序显示在其后的屏幕上。也可以在“显示数控程序目录”的界面上输入显示的程序名，然后单击 CRT

屏幕上的软键[O检索]，搜索到该程序后，“OXXXX”显示在屏幕首行程序编号位置，NC 程序显示在其后的屏幕上。

(3) 删除一个数控程序。单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态。利用 MDI 键盘输入“ox”(x 为要删除的数控程序在目录中显示的程序号)，单击 MDI 键盘删除按钮，程序即被删除。

(4) 新建一个数控程序。单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的程序按钮，CRT 界面转入编辑页面。利用 MDI 键盘输入“ox”(x 为程序编号，但不能与已有程序编号重复)，单击插入按钮，CRT 界面上显示一个空程序，这时可以通过 MDI 键盘开始输入程序。输入一段代码后，单击插入按钮，输入域中的内容即显示在 CRT 界面上。

(5) 删除全部数控程序。单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的程序按钮，CRT 界面转入编辑页面。利用 MDI 键盘输入“0.9999”，单击删除按钮，全部数控程序即被删除。

4.2.3 编辑程序

在 CRT 界面的编辑页面中，选定一个数控程序后，此程序即显示在 CRT 界面上，可对

它进行编辑操作。

- (1) 移动光标。单击 **↑** **PAGE** 和 **↓** **PAGE** 按钮用于翻页，单击方位按钮 **↑** **↓** **←** **→** 移动光标。
- (2) 插入字符。先将光标移到所需位置，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，将代码输入到输入域中，单击插入按钮 **INSERT**，把输入域的内容插入到光标所在代码后面。
- (3) 删除输入域中的数据。单击取消按钮 **CAN**，可删除输入域中的数据。
- (4) 删除字符。先将光标移到所需删除字符的位置，单击删除按钮 **DELETE**。
- (5) 查找。输入需要搜索的字母或代码（代码可以是一个字母或一个完整的代码，如“N0010”，“M”等），单击 **↓** 按钮，在当前数控程序中从光标所在位置开始往后搜索，如果此数控程序中有所搜索的代码，则光标停留在找到的代码处；如果此数控程序中没有所搜索的代码，则光标停留在原处。
- (6) 替换。先将光标移到所需替换字符的位置，将替换成的字符通过 MDI 键盘输入到输入域中，单击替换按钮 **ALTER**，把输入域的内容替代光标所在位置的字符。

4.2.4 保存程序

编辑好的程序需要进行保存操作。

- (1) 单击操作面板上的“编辑”按钮 **⌘**，进入编辑状态。
- (2) 在 CRT 屏幕上单击软键 **[操作]**，在弹出的菜单中单击软键 **[PUNCH]**，在弹出的对话框中输入文件名，选择文件类型和保存路径，单击“保存”按钮，如图 4.7 所示。



图 4.7

4.3 参数设置

4.3.1 G54~G59 参数设置

G54~G59 参数用于设定工件坐标系。

在 MDI 键盘上单击 **SYSTEM** 按钮四次，进入坐标系参数设定界面，单击软键 **[操作]**，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“0x”（01 表示 G54，02 表示 G55，以此类推），单击软键 **[检索]**，光标停留在选定的坐标系参数设定区域，如图 4.8 所示。

用方位按钮 **↑** **↓** **←** **→** 选择所需的坐标系和坐标轴。利用 MDI 键盘输入通过对刀得到的工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。设通过对刀得到的工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值为 (.500, .415, .404)，则首先将光标移到 G54 坐标系 X 的位置，在 MDI 键盘上输入“.500.00”，单击 CRT 屏幕上的软键 **[输入]** 或单击 MDI 键盘上的 **INPUT** 按钮，X 参数输入到指定区域。单击 **CAN** 按钮逐字删除输入域中的字符，单击 **↓** 按钮，将光标移到 Y 的位置，输入“.415.00”，单击 CRT 屏幕上的软键 **[输入]** 或单击 MDI 键盘上的 **INPUT** 按钮，Y 参数输入到指定区域。同样操作可以输入 Z 的值。此时 CRT 界面如图 4.9 所示。

注意：坐标值输入必须带小数点。例如，X 坐标值为.100，必须输入“.100.00”；若输入

“.100”，则系统默认为.0.100。

WORK COORDINATES				O	N
(G54)					
番号	数据	番号	数据		
00	X 0.000	02	X 0.000		
(EXT)	Y 0.000	(G55)	Y 0.000		
	Z 0.000		Z 0.000		
01	X 0.000	03	X 0.000		
(G54)	Y 0.000	(G56)	Y 0.000		
	Z 0.000		Z 0.000		
}					
EDIT**** **					

图 4.8

WORK COORDINATES				O	N
(G54)					
番号	数据	番号	数据		
00	X 0.000	02	X 0.000		
(EXT)	Y 0.000	(G55)	Y 0.000		
	Z 0.000		Z 0.000		
01	X -500.000	03	X 0.000		
(G54)	Y -415.000	(G56)	Y 0.000		
	Z -404.000		Z 0.000		
}					
EDIT**** **					

图 4.9

4.3.2 车床刀具补偿参数

车床的刀具补偿包括刀具的磨损量补偿和形状补偿，两者之和构成车刀偏置量补偿，设定后，可在数控程序中调用。

1. 设定磨损量补偿参数

刀具使用一段时间后磨损，会使产品尺寸产生加工误差，因此需要对刀具设定磨损量补偿，设定步骤如下：

- (1) 在 MDI 键盘上单击 **OFFSET SETTING** 按钮一次，进入磨损量补偿参数设定界面，如图 4.10 所示。
- (2) 用 **↑** **↓** 按钮选择所需的番号，并用 **←** **→** 按钮确定所需补偿的项目。
- (3) 通过 MDI 键盘，在输入域中输入补偿值。
- (4) 单击 CRT 屏幕上的软键 **[输入]** 或单击 MDI 键盘上的 **INPUT** 按钮，参数输入到指定区域。单击 **CAN** 按钮逐字删除输入域中的字符。

2. 设定形状补偿参数





- (1) 在 MDI 键盘上单击 **OFFSET SETTING** 键两次，进入形状补偿参数设定界面，如图 4.11 所示。

工具补正/磨损				O	N
番号	X	Z	R	T	
01	0.000	0.000	0.000	0	
02	0.000	0.000	0.000	0	
03	0.000	0.000	0.000	0	
04	0.000	0.000	0.000	0	
05	0.000	0.000	0.000	0	
06	0.000	0.000	0.000	0	
07	0.000	0.000	0.000	0	
08	0.000	0.000	0.000	0	
现在位置(相对坐标)					
U	-114.567	W	89.550		
}					
JOG **** **					

图 4.10

工具补正/形状				01000	N 1000
番号	X	Z	R	T	
01	0.000	0.000	0.000	0	
02	0.000	0.000	0.000	0	
03	0.000	0.000	0.000	0	
04	0.000	0.000	0.000	0	
05	0.000	0.000	0.000	0	
06	0.000	0.000	0.000	0	
07	0.000	0.000	0.000	0	
08	0.000	0.000	0.000	0	
现在位置(相对坐标)					
U	0.000	W	0.000		
}					
EDIT**** **					
[磨损] [形状] [SETTING[坐标系] [(操作)]					

图 4.11







- (2) 使用  按钮选择所需的番号，并用  按钮确定所需补偿的项目。
- (3) 通过 MDI 键盘，输入补偿值到输入域。
- (4) 单击 CRT 屏幕上的软键  或单击 MDI 键盘上的  按钮，参数输入到指定区域。

4.3.3 铣床及加工中心刀具补偿参数

铣床和加工中心的刀具补偿包括刀具的直径补偿和长度补偿，设定后，可在数控程序中调用。

1. 输入半径补偿参数

FANUC Oi 的刀具半径补偿包括形状半径补偿和磨损半径补偿。

- (1) 在 MDI 键盘上单击  键两次，进入参数补偿设定界面，如图 4.12 所示。
- (2) 使用  按钮选择所需的番号，并用  按钮确定需要设定的半径补偿是形状补偿或磨损补偿，将光标移到相应的区域。
- (3) 通过 MDI 键盘上的数字/字母键，输入刀具半径补偿参数。
- (4) 单击 CRT 屏幕上的软键  或单击 MDI 键盘上的  按钮，参数输入到指定区域。单击  按钮逐字删除输入域中的字符。






工具补偿				
番号	形状(H)	磨损(H)	形状(D)	磨损(D)
001	0.000	0.000	0.000	0.000
002	0.000	0.000	0.000	0.000
003	0.000	0.000	0.000	0.000
004	0.000	0.000	0.000	0.000
005	0.000	0.000	0.000	0.000
006	0.000	0.000	0.000	0.000
007	0.000	0.000	0.000	0.000
008	0.000	0.000	0.000	0.000
现在位置(相对坐标)				
X	-500.000	Y	-250.000	Z 0.000
MEM *****				

图 4.12

注意：半径补偿参数若为 4 mm，在输入时需输入“4.000”，如果只输入“4”，则系统默认为“0.004”。

2. 输入长度补偿参数

铣刀可以根据需要抬高或降低，可通过在数控程序中调用长度补偿实现。FANUC Oi 系统的刀具长度补偿包括形状长度补偿和磨损长度补偿。

- (1) 在 MDI 键盘上单击  按钮两次，进入参数补偿设定界面，如图 4.12 所示。
- (2) 用方位按钮  选择所需的番号，并确定需要设定的长度补偿是形状补偿或磨损补偿，将光标移到相应的区域。
- (3) 通过 MDI 键盘上的数字/字母键，输入刀具长度补偿参数。
- (4) 单击 CRT 屏幕上的软键  或单击 MDI 键盘上的  按钮，参数输入到指定区域。单击  按钮逐字删除输入域中的字符。

4.4 车床仿真

本节的目的是使用户通过在数控加工仿真系统（FANUC Oi）车床上实际加工一个零件，全面熟悉 FANUC Oi 车床仿真的基本使用方法。

4.4.1 零件车削实例

1. 零件图

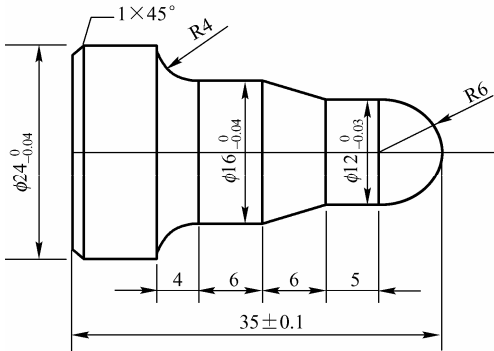


图 4.13

将零件如图 4.13 所示进行车削加工。

2. 加工准备

采用外圆加工方式，选取刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm，V 号刀片，H 型刀柄。选择直径 25 mm，高 150 mm 的圆柱形毛坯。采用 G54 定位坐标系，工件坐标系原点设在工件右端面的中心处。

3. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；安装刀具，对刀；设置参数；自动加工。

4. 数控加工程序

```
O004
M3S800.
T0101
G0X50.Z20.
G0X26.Z1.
G71U1.R1.
G71P1Q2U0.5W0.2F100.
N1G42G0X-1.Z1.
G1Z0
X0
G3X12.Z-6.R6.
G1Z-11.
X16.W-6.
W-6.
G2X24.W-4.R4.
G1Z-40.
X26.
N2G40
G70P1Q2F60.S1200.
G0X50.Z20.
T0202
G0X25.Z-35.S300.
G1X22.F40.
G0X25.
```

G42 调用刀尖半径补偿；

G40 取消刀尖半径补偿；

Z-34.
G1X24.
X22.Z-35.
X1.
G0X50.
G0Z20.
M30

不能设为 X0，因为完全切断零件就消失了；

将此数控程序先在记事本中输入，(注意输入小数点)保存文件名为 OC4.txt。

4.4.2 仿真加工步骤

1. 选择机床

单击菜单“机床/选择机床…”，弹出如图 4.14 所示的“选择机床”对话框，在“控制系统”中选择 FANUC Oi 系统；“机床类型”选择“车床”，并单击“确定”按钮，此时界面如图 4.15 所示。



图 4.14

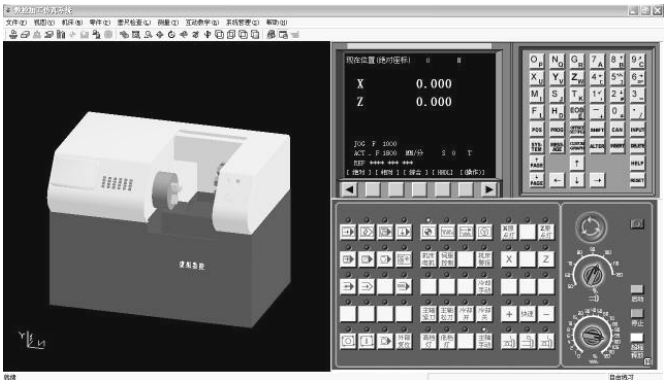






图 4.15




2. 机床回零

(1) 单击“启动”按钮，此时机床电机和伺服控制的指示灯变亮。

(2) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

(3) 检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击按钮，转入回原点模式。

(4) X、Z 轴回零。

① 在回原点模式下，先将 X 轴回原点。单击控制面板上的 X 方向按钮，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击按钮，此时 X 轴将回原点，CRT 上的 X 坐标变为“390.00”。

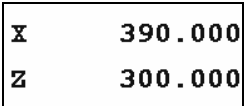





图 4.16

② 同样，再单击 Z 方向按钮，使 Z 轴方向指示灯变亮，单击按钮，此时 Z 轴将回原点，此时 CRT 界面如图 4.16 所示。

3. 安装零件

单击“零件/定义毛坯...”菜单，在如图 4.17 所示的“定义毛坯”对话框中，改写零件尺寸为直径 25 mm，高 150 mm，单击“确定”按钮。

单击“零件/放置零件...”菜单，在如图 4.18 所示的“选择零件”对话框中，选取名称为“毛坯 1”的零件，并单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 4.19 (a) 所示。可以用其移动零件，使毛坯的伸出端满足加工零件的长度。毛坯的伸出长度可通过“零件/测量...”菜单得到。单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床如图 4.19 (b) 所示，零件已放置在机床工作台上。

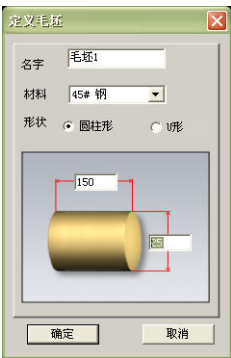
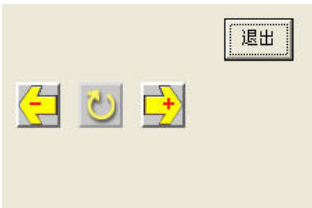


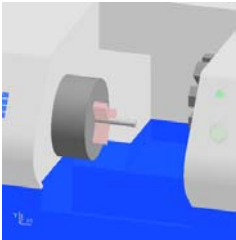
图 4.17



图 4.18










(a)



(b)

图 4.19 移动零件面板及机床上的零件

4. 导入数控程序

单击操作面板上的“编辑”按钮, 进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的程序按钮, CRT 界面转入编辑页面。再单击软键, 在出现的子菜单中单击软键, 出现软键, 单击此软键, 在弹出的对话框中选择所需的文件 OC4.txt, 如图 4.20 所示, 单击“打开”按钮。在同一菜单级中, 单击软键, 通过 MDI 键盘上的数字/字母键, 输入“004”, 单击软键, 则数控程序 004 显示在 CRT 界面上。

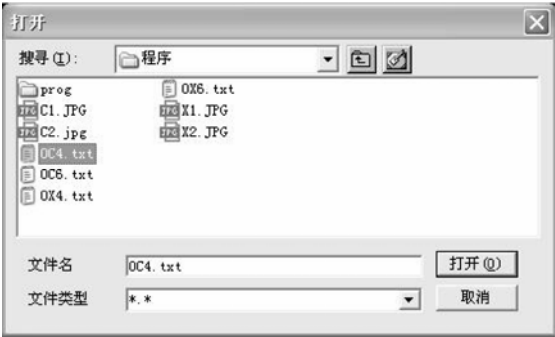







图 4.20

5. 检查运行轨迹

单击操作面板上的“自动运行”按钮, 进入自动加工模式; 单击 MDI 键盘上的程序按钮; 单击数字/字母键, 输入“O004”, 单击按钮开始搜索, 找到后, 主程序 O004 显示在 CRT 界面上。单击按钮, 进入检查运行轨迹模式, 单击操作面板上的“循环启动”按钮, 即可观察数控程序的运行轨迹, 此时也可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察, 运行轨迹如图 4.21 所示。图中红线（软件中可分出）代表刀具快速移动的轨迹, 绿线（软件中可分出）代表刀具切削的轨迹。

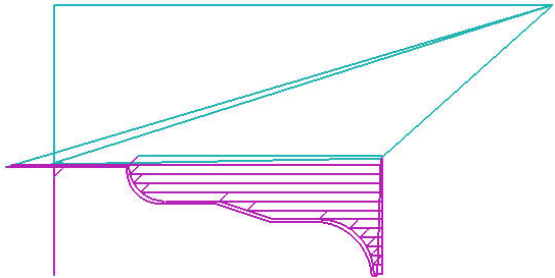



图 4.21

6. 装刀具 对刀

(1) 装刀具。单击菜单“机床/选择刀具”, 或按图标, 在“选择车刀”对话框中, 根

据加工工艺要求，一号刀用于粗、精加工外圆，刀片选择 D 型 55°、刀尖半径为 0.4 mm 的刀片，刀柄选择主偏角为 93° 外圆右向横柄，刀具长度为 60 mm。二号刀为切断刀，刀片选择宽度为 4 mm、刀尖半径为 0.2 mm 的方头切槽刀片，刀柄选择切槽深度为 20 mm、长度为 60 mm 的外圆切槽柄，如图 4.22 所示，单击“确定”按钮后退出。

(2) 对刀。运行轨迹正确，表明输入的程序基本正确，数控程序以零件右端面中心点为原点，下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

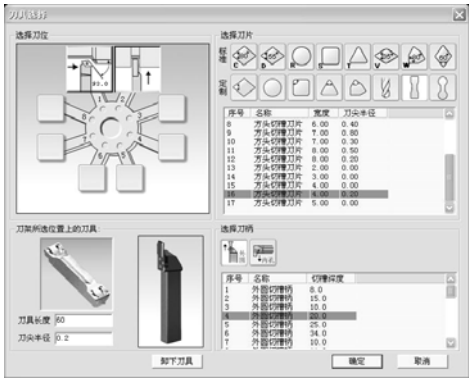


图 4.22

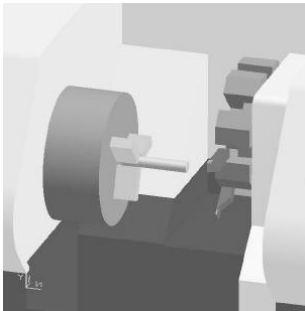









图 4.23

① 01 号刀具对刀。

a. 单击操作面板上的 MDI 按钮，使其指示灯亮，在 MDI 键盘上输入 T0100 并单击 INSERT 按钮；单击操作面板“循环启动”按钮，调用 1 号刀具；利用操作面板“手动”按钮、X、Z 轴的控制按钮、和机床移动按钮、，将机床移动到如图 4.24 所示的大致位置。

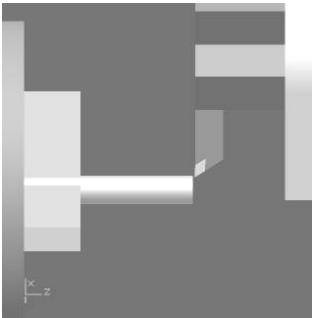


图 4.24

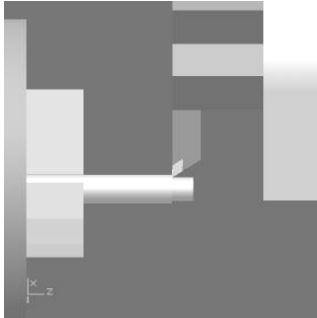







图 4.25

b. 单击操作面板“手动”按钮、“主轴正转”按钮，使其指示灯亮，启动主轴，利用操作面板“手动”按钮、X、Z 轴的控制按钮和机床主轴移动按钮，使刀具将外圆表面车去一层，如图 4.25 所示；单击按钮使主轴停止转动，此时必须保持刀具位置不移动。

c. 单击“零件/测量...”菜单，得到所车外圆直径 22.793 mm，如图 4.26 所示。在 MDI 键盘上单击按钮两次，用方向按钮把光标移动到 01 刀具 X 位置，输入 X22.793；单击 CRT 屏幕上的软键，X 坐标就输入好了。再把刀停在工件右端面上方，如图 4.27 所示，移动 X 轴试切端面，保持 Z 坐标不变，如图 4.28 所示。把光标移动到 Z 位置，输入 Z0；单击

CRT 屏幕上的软键[测量]。然后把光标移动到 R 位置，输入刀具的圆弧半径补偿值 0.4；把光标移动到 T 位置，输入刀尖方位值 3，如图 4.29 所示。单击操作面板上的[+]按钮，使刀具移到工件外。

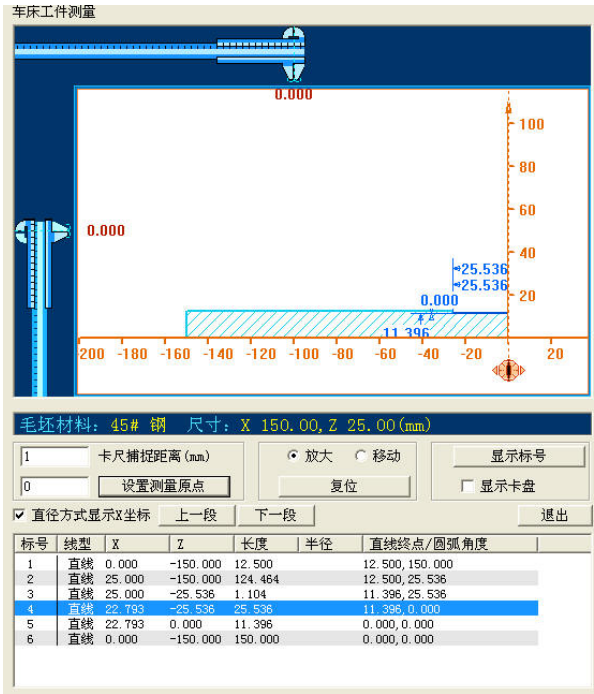


图 4.26

② 02 号刀具对刀。用 MDI 方式调用 02 号刀具，在手轮模式下，将 02 号刀具移动至工件外圆与端面的交点处，在图 4.29 所示界面中对对应 02 号刀具分别输入 X22.793 和 Z4。要注意的是：切断刀是用左刀尖点对刀的，而编程是用右刀尖点对刀的，所以用 02 号刀对 Z 坐标时，要输入 Z4.，再单击软键[测量]，对刀完成后的屏幕显示如图 4.30 所示。

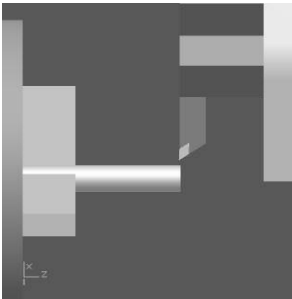


图 4.27

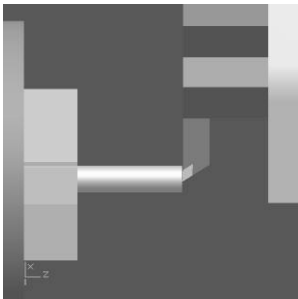


图 4.28



图 4.29

7. 自动加工

完成对刀、设置刀具补偿参数、导入数控程序后，就可以开始自动加工了。先将机床回零；单击操作面板上的“自动运行”按钮[自动运行]，使其指示灯[自动运行]亮，单击“循环启动”按钮[循环启动]，就可以自动加工了。加工完毕出现如图 4.31 所示的效果。

工具补正/形状		00004	N	0004
番号	X	Z	R	T
01	169.307	149.660	0.400	3
02	170.000	145.316	0.000	0
03	0.000	0.000	0.000	0
04	0.000	0.000	0.000	0
05	0.000	0.000	0.000	0
06	0.000	0.000	0.000	0
07	0.000	0.000	0.000	0
08	0.000	0.000	0.000	0
现在位置(相对坐标)				
U	220.000	W	165.316	
MEM *****		S	0	2
[磨损] [形状] [SETTING] [坐标系] [操作]				

图 4.30

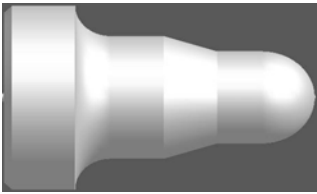


图 4.31

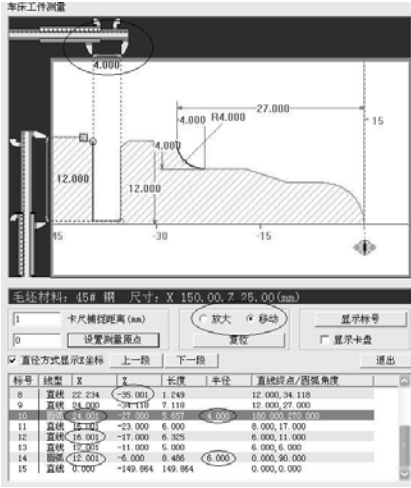


图 4.32

FANUC Oi 铣床的基本使用方法。

4.5.1 零件铣削实例

1. 零件图

将毛坯加工成如图 4.33 所示的模型，零件尺寸如图 4.34 所示。



图 4.33

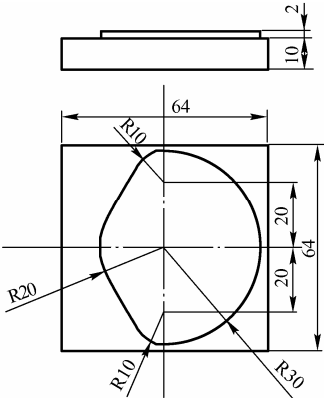


图 4.34

2. 加工准备

选取直径为 10 mm 的平底刀，选择高为 12 mm，边长为 64 mm 的正方形毛坯。采用 G54 定位坐标系，工件坐标系原点设在毛坯上表面中心处。

3. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入 NC 程序；检查运行轨迹；装刀具，对刀；设置参数；自动加工。

4. 数控程序

```
O004
N1G54
N2G0G90X-30.Y30.
N3M3S2000
N4Z2.
N5G1Z-2.F50
N6Y-30.F100
N8X-23.Y-36.
N9X23.
N10X36.Y-23.
N11Y23.
N12X23.Y36.
N13X-23.
N14X-30.Y30.
N15X-21.Y30.
N17X-22.Y12.
N20X-13.Y27.F300
N21G2X0Y35.R15.
N22Y-35.R35.
N23X-13.Y-27.R15.
N24G1X-22.Y-12.
N25G2Y12.R25.
N26G1X-30.
N27Y-15.
N28X-20.Y-30.
N29Z0.
N30G0Z30.
N31X0Y0
N32M5
N33M30
```

将此数控程序在记事本中输入（注意输入小数点），保存文件名为 OX4.TXT。

4.5.2 仿真加工步骤

1. 选择机床

单击“机床/选择机床…”菜单，弹出“选择机床”对话框，如图 4.35 所示，在“控制系统”中选择 FANUC Oi 系统，机床类型选择立式铣床，单击“确定”按钮，此时界面如图 4.36 所示。



图 4.35

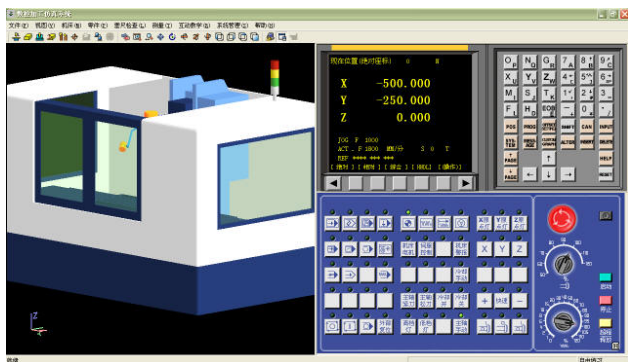








图 4.36

2. 机床回零

(1) 单击“启动”按钮，此时机床电机和伺服控制的指示灯变亮。

(2) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

(3) 检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击“回零”按钮，转入回原点模式。

(4) 在回原点模式下，先将 X 轴回原点，单击操作面板上的 X 方向，使 X 轴方向移动指示灯变亮，单击按钮，此时 X 轴将回原点，同时 X 轴回原点灯变亮，

CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向按钮 **Y**、**Z**，使相应指示灯变亮，单击 **+** 按钮，此时 Y 轴、Z 轴将回原点，同时 Y 轴、Z 轴回原点指示灯 **Y 原点**、**Z 原点** 变亮。此时 CRT 界面如图 4.37 所示。

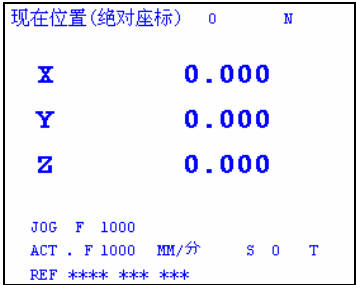


图 4.37

3. 安装零件

(1) 单击“零件/定义毛坯...”菜单，在“定义毛坯”对话框中，如图 4.38 所示，将零件尺寸改为高 14 mm、长和宽 240 mm，名字为默认值“毛坯 1”，并单击“确定”按钮。

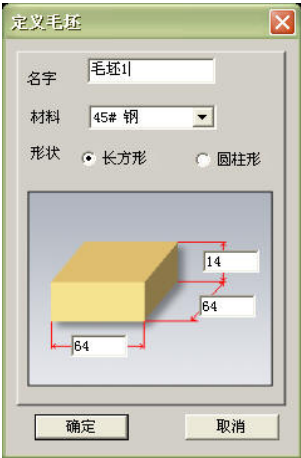


图 4.38

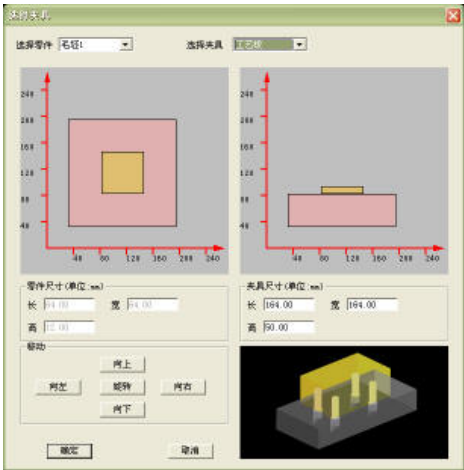


图 4.39

(3) 单击“零件/放置零件...”菜单，在选择零件对话框中，如图 4.40 所示，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，并单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 4.41 (a) 所示，可以用其移动零件；当单击面板上的“退出”按钮时，关闭该面板，此时机床如图 4.41 (b) 所示，零件已放置在机床工作台上。



图 4.40



图 4.41

(4) 单击菜单“零件/安装压板”，打开“选择压板”对话框，因为工件较小，所以不能安装太多压板，而且还要选择较小的压板，单击第五个图案，选取安装两块压板，压板尺寸如图 4.42 所示，单击“确定”按钮，机床台面上的零件已安装好压板。到此为止，零件已经安装完毕。

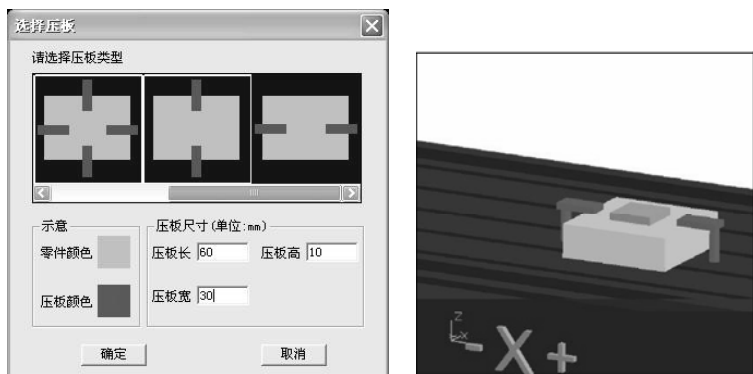


图 4.42

4. 导入NC程序






单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态；单击 MDI 键盘上的程序按钮，CRT 界面转入编辑页面；单击软键“操作”，在出现的子菜单中单击软键，显示软键“F 检索”，单击此软键，在弹出的对话框中选择“OX4.TXT”程序，如图 4.43 所示，单击“打开”按钮。在同一菜单级中，单击软键 READ，通过 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“004”，单击软键 EXEC，则数控程序显示在 CRT 界面上。软键在 CRT 界面下方，与 CRT 界面上的提示相对应。如图 4.44 所示。







图 4.43



图 4.44

5. 检查运行轨迹

单击操作面板上的“自动运行”按钮，进入自动加工模式；单击 MDI 键盘上的程序按钮，将选定的数控程序显示在 CRT 界面上；单击按钮，进入检查运行轨迹模式，单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，此时也可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察，运行轨迹如图 4.45 所示。

图中红线（软件中可看出）代表刀具快速移动的轨迹，绿线（软件中可看出）代表刀具切削的轨迹。

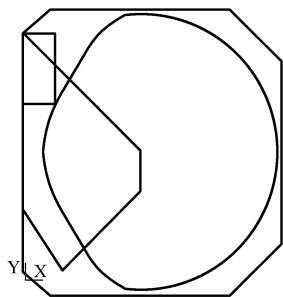




















图 4.45

6. 装刀具、对刀

(1) X、Y 轴对刀。运行轨迹正确，表明输入的程序基本正确，此数控程序以零件上表面中心点为原点，下面将说明如何通过基准来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① 单击“机床/基准工具…”菜单，在“基准工具”对话框中选取左边的刚性圆柱基准工具，其直径为 14 mm，如图 4.46 所示；单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯变亮，机床转入手动加工状态，利用操作面板上的方向按钮、、和机床移动按钮、，将机床移到如图 4.47 所示的大致位置。

② 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先对 X 轴方向的基准，将基准工具移动到如图 4.48 所示的位置，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床；单击“显示手轮”按钮，如图 4.2 所示，将手轮对应“轴”旋钮置于 X 档，调节“手轮进给速度”旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动零件，直至提示信息对话框中显示“塞尺检查的结果：合适”，记下此时 CRT 中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标.372.00，记为 X1。单击操作面板上的“手动”按钮，使机床转入手动加工状态，单击和按钮，将 Z 轴提起，单击和按钮，将基准工具移到工件的另一边，重复上面的步骤，记下此时 CRT 中的 X 的坐标.628.00，记为 X2，故工件坐标系原点的 X 坐标为 $(X1+X2)/2 = (-372.00-628.00)/2 = -500.00$ 。同样操作可得到工件坐标系原点的 Y 坐标为-415.00。

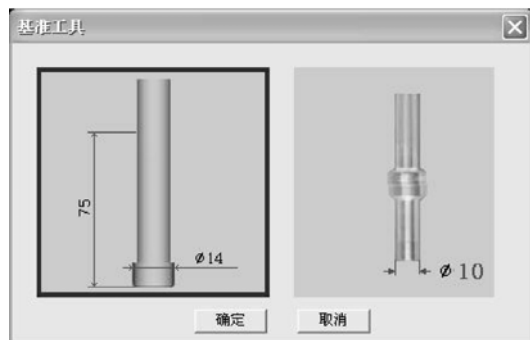


图 4.46

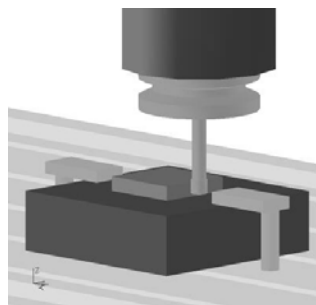





图 4.47

(2) Z轴对刀、装刀具。X, Y方向基准对好后, 单击菜单“塞尺检查/收回塞尺”收回塞尺, 单击操作面板上的“手动”按钮, 使机床进入手动加工状态, 单击和按钮, 将Z轴提起; 再单击菜单“机床/拆除工具”, 拆除基准工具, 单击菜单“机床/选择刀具”, 在“选择铣刀”对话框中根据加工要求选择直径为10 mm的平底刀, 单击“确定”按钮后退出, 如图4.49所示。装好刀具后, 将机床移到大致位置进行塞尺检查, 得到工件上表面的Z坐标值, 记为Z1, 为-403.00。由此得到工件坐标系原点的Z坐标, 记为Z, 为-403.00-1.00= -404.00。

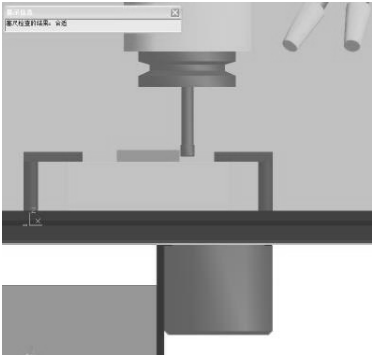


图 4.48










图 4.49

此时得到的 (X, Y, Z), 即 (-500, -415, -404) 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。




7. 设置参数

刀具补偿参数默认值为 0。

(1) 通过 G54 确定工件坐标原点。在 MDI 键盘上单击按钮三次, 进入坐标系参数设定界面, 单击软键“操作”, 通过 MDI 键盘上的数字/字母键, 输入“01”, 单击软键“NO 检索”, 光标停留在 G54 坐标参数设定区域, 先设 X 的坐标值, 利用 MDI 键盘输入“-500.00”, 单击软键“输入”, 则 G54 中 X 的坐标值变为-500.00; 用按钮将光标移至 Y 的位置, 同样输入“-415.00”, 单击软键“输入”, 再将光标移至 Z 的位置, 同样输入“-404.00”, 单击软键“输入”, 即完成了 G54 参数的设定。此时 CRT 界面如图 4.50 所示。

(2) 输入刀尖半径补偿参数。本程序已经将刀具半径补偿过了, 所以没有加“G41/G42”。如果程序要使用“G41/G42”补偿, 那么在起始界面下, 单击 MDI 键盘上的按钮, 进入修正参数设定界面, 利用方位按钮将光标移到对应刀具的“形状 (D)”栏, 通过 MDI 键盘上的数字/字母键, 输入“5.000”单击软键“输入”, 把刀尖半径补偿参数输入到所指定的位置, 如图 4.51 所示, 此时已将选择刀具时设定的刀尖半径 5.00 mm 输入。

8. 自动加工

完成对刀、设置刀具补偿参数、导入数控程序后, 就可以开始自动加工了。先将机床回零。单击操作面板上的“自动运行”按钮, 使其指示灯亮, 单击“循环启动”按钮, 就可以自动加工了。加工完毕的效果见图 4.33。

WORK COORDINATES				O	N
(G54)					
番号	数据	番号	数据		
00	X 0.000	02	X 0.000		
(EXT)	Y 0.000	(G55)	Y 0.000		
	Z 0.000		Z 0.000		
01	X -500.000	03	X 0.000		
(G54)	Y -415.000	(G56)	Y 0.000		
	Z -404.000		Z 0.000		
>					
REF **** ** *					

图 4.50

工具补正					O	N
番号	形状(H)	摩耗(H)	形状(D)	摩耗(D)		
001	0.000	0.000	5.000	0.000		
002	0.000	0.000	0.000	0.000		
003	0.000	0.000	0.000	0.000		
004	0.000	0.000	0.000	0.000		
005	0.000	0.000	0.000	0.000		
006	0.000	0.000	0.000	0.000		
007	0.000	0.000	0.000	0.000		
008	0.000	0.000	0.000	0.000		
现在位置(相对座标)						
X	-500.000	Y	-250.000	Z	0.000	
>					S 0	T
EDIT**** ** *						
[NO检索] [测量] [] [+输入] [输入]						

图 4.51

习 题 4

- 4.1 试述数控车床 (FANUC Oi 系统) 对刀的意义和方法。
- 4.2 试述 G50 指令代码的应用方法。
- 4.3 试述数控铣床 (FANUC Oi 系统) 建立工件坐标系的方法?
- 4.4 数控车床上有哪些功能键、数据输入键和编辑键?
- 4.5 数控车床上有哪些工作方式和控制开关?
- 4.6 试述数控车床调整开关的作用。
- 4.7 如图 4.52 所示零件, 刀尖按 “A→B→C→D→E→F” 顺序移动, 编写加工程序后, 在 FANUC Oi 系统车床上完成仿真加工。

4.8 如图 4.53 所示零件, 运用粗车外圆循环指令编写加工程序, 设定切削深度 a_p 为 1 mm, 在 FANUC Oi 系统车床上完成仿真加工。

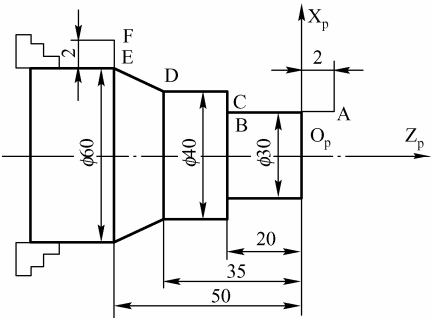


图 4.52

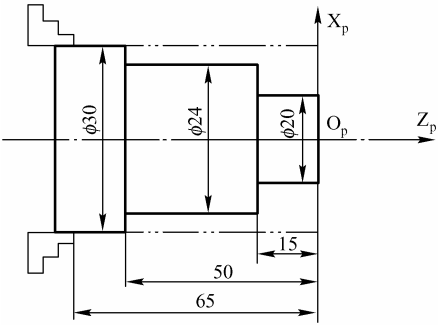


图 4.53 矩形循环应用

- 4.9 加工如图 4.54 所示零件外轮廓面, 试用刀具半径补偿指令编程并在 FANUC Oi 系统铣床上完成仿真加工。
- 4.10 加工如图 4.55 所示零件内轮廓面, 铣刀每次最大切削深度不超过 2 mm, 试用子程序编程并在 FANUC Oi 系统铣床上完成仿真加工。

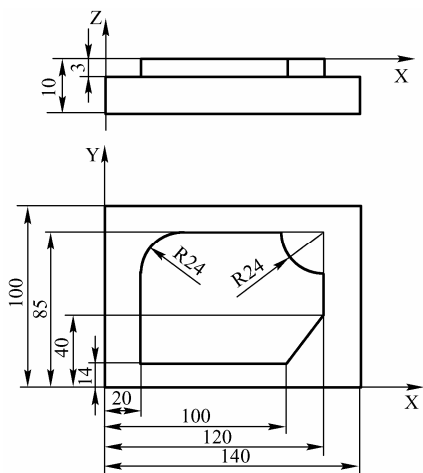


图 4.54

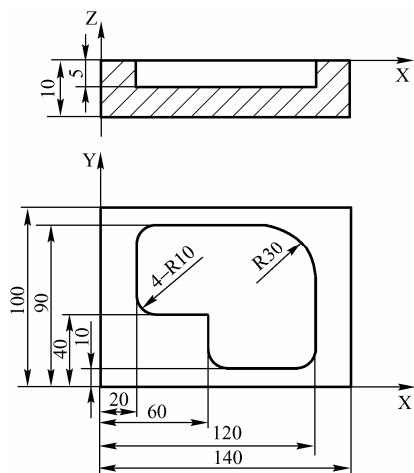


图 4.55

第 5 章 SIEMENS 810D 数控系统仿真

内容提要

机床操作。数控程序处理。参数设置。SIEMENS 810D 车床仿真。SIEMENS 810D 铣床仿真。

5.1 机床操作

SIEMENS 810D 标准铣床操作面板如图 5.1 所示。

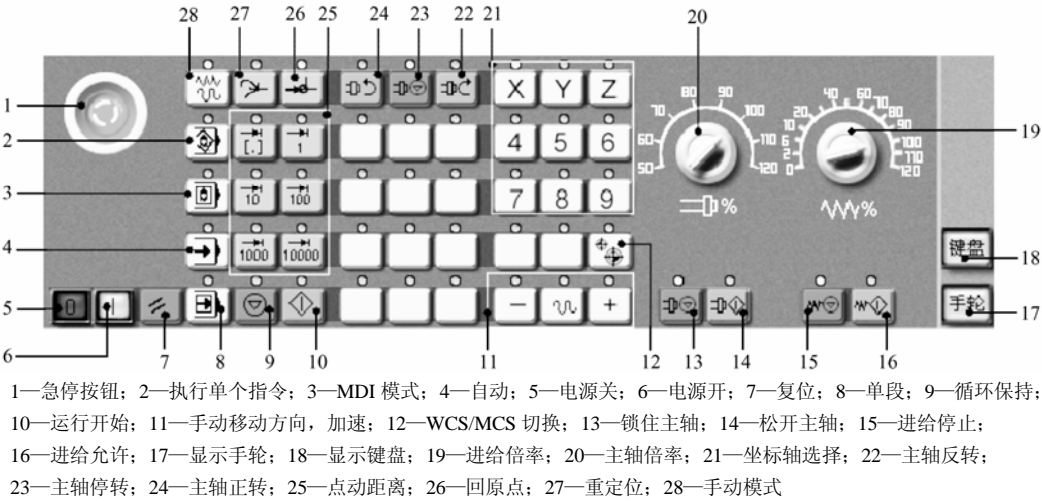










图 5.1

5.1.1 回零模式操作

系统启动后，将自动进入“回参考点”模式。在“回零参考点”模式下，分别单击操作面板上的“电源开关”按钮，“紧急停止”按钮，“主轴松开”按钮，“进给允许”按钮，机床进入受令状态。在其他模式下，按顺序先后单击操作面板上的“手动”按钮和“回原点”按钮，也可以进入“回参考点”模式。

1. 数控车床

(1) X 轴回参考点。单击 X 轴正向按钮，X 轴将回到参考点，完成之后 CRT 界面上的 X 回零指示灯亮。

(2) Z 轴回参考点。单击 Z 轴正向按钮，Z 轴将回到参考点，完成之后 CRT 界面上的 Z 回零指示灯亮，如图 5.2 所示。

(3) X 轴和 Z 轴都回到参考点之后，系统将自动切换到“手动”模式，如图 5.3 所示。





MCS	Position
 X1	600.000 mm
 Z1	1010.000 mm
SP	0.000 Deg



图 5.2



MCS	Position	Repos offset
X1	600.000 mm	0.000
Z1	1010.000 mm	0.000
SP	0.000 Deg	0.000

图 5.3

2. 数控铣床

(1) Z 轴回参考点。单击 Z 方向按钮，再单击按钮，Z 轴将回到参考点，完成之后 CRT 界面上的 Z 回零指示灯亮。

(2) X 轴回参考点。单击 X 方向按钮，再单击按钮，X 轴将回到参考点，完成之后 CRT 界面上的 X 回零指示灯亮。


(3) Y 轴回参考点。单击 Y 方向按钮，再单击按钮，Y 轴将回到参考点，完成之后 CRT 界面上的 Y 回零指示灯亮。


(4) X 轴、Y 轴和 Z 轴都回到参考点之后，系统将自动切换到“手动”模式。

5.1.2 自动模式/手动模式



1. 自动/连续方式


(1) 自动加工操作步骤。


- ① 检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。
- ② 选择一个供自动加工的数控程序。
- ③ 单击操作面板上的“自动方式”按钮，使其指示灯变亮，机床即进入自动加工模式。

④ 单击操作面板上的“运行开始”按钮。

(2) 中断运行。数控程序在运行过程中可根据需要暂停、停止、急停或重新运行。





① 在运行过程中，单击操作面板的“循环保持”按钮，程序将暂停运行，机床保持暂停运行状态；再次单击“运行开始”按钮，程序从暂停行开始继续运行。

② 在运行过程中，单击操作面板的“复位”按钮，程序停止运行，机床停止，再次单击“运行开始”按钮，程序从暂停行开始继续运行。

③ 在运行过程中，单击操作面板的“急停”按钮，数控程序中断运行；要继续运行时，先将“急停”按钮松开，再单击“运行开始”按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。














2. 自动/单段方式

- (1) 检查机床是否机床回零。
- (2) 选择一个供自动加工的数控程序（主程序和子程序需分别选择）。









- (3) 单击操作面板上的“自动方式”按钮，使机床进入自动加工模式。
- (4) 单击“单段”按钮，使其指示灯变亮。
- (5) 每单击一次“运行开始”按钮，数控程序执行一行。数控程序执行后，想回到程序开头，可单击操作面板上的“复位”按钮。

3. 手动/连续方式

(1) 标准车床。

- ① 单击操作面板上的按钮，使机床的运行方式指示灯中只有“手动按钮”指示灯亮。
- ② 检查“进给允许”指示灯是否亮，如果未亮，则单击操作面板上的“进给允许”按钮，使其指示灯变亮。
- ③ 检查“主轴松开”指示灯是否亮，如果未亮，则单击操作面板上的“主轴松开”按钮，使其指示灯变亮。
- ④ 单击操作面板上的 X 轴正向按钮，机床向 X 轴正向移动，单击 X 轴负向按钮，机床向 X 轴负方向移动；同理，单击、按钮，机床在 Z 轴方向移动；可以根据加工零件的需要，单击适当的按钮移动机床。
- ⑤ 单击操作面板上的“主轴正转”按钮或“主轴反转”按钮，使主轴转动；单击“主轴停止”按钮，使主轴停止转动。

(2) 数控铣床。














- ① 与数控车床的前三步操作相同。
- ② 单击操作面板上的、、按钮，选择所需移动的坐标轴，单击操作面板上的或按钮，控制机床向相应坐标轴的正方向或负方向移动。
- ③ 单击操作面板上的“主轴正转”按钮或“主轴反转”按钮，使主轴转动；单击“主轴停止”按钮，使主轴停止转动。





在上述操作过程中，需要注意的是，当刀具与零件在加工过程中发生非正常碰撞后（非正常碰撞包括车刀的刀柄与零件发生碰撞；铣刀与夹具发生碰撞等），系统会弹出“警告”对话框，同时主轴自动停止转动；调整到适当位置后，继续加工时需使主轴重新转动。





4. 手动/点动（手轮）方式




在手动/连续加工方式下，当需要精确调节机床时，可采用点动（手轮）方式调节机床。

(1) 数控车床。






- ① 单击操作面板上的“手动”按钮，使机床的运行方式指示灯中只有“手动”按钮指示灯亮。
- ② 检查“进给允许”指示灯是否亮，若不亮，则单击操作面板上的“进给允许”按钮，使其指示灯变亮。
- ③ 检查“主轴松开”指示灯是否亮，若不亮，则单击操作面板上的“主轴松开”按钮，使其指示灯变亮。
- ④ 分别单击操作面板上的、、、、按钮，选择手动/点动方式下机床每次移动的距离（指在“JOG Data”参数设置界面中设置的参数；表示每次移

动距离为 0.001 mm，表示每次移动距离为 0.01 mm，表示每次移动距离为 0.1 mm，表示每次移动距离为 1 mm，表示每次移动距离为 10 mm)。

⑤ 选择好点动距离后，单击操作面板上的 X 轴正向按钮，机床向 X 轴正向以点动方式移动，单击 X 轴负向按钮，机床向 X 轴负向以点动方式移动；单击、按钮，机床在 Z 轴分别向正向和负向以点动方式移动。可以根据加工零件的需要，单击适当的按钮移动机床。






⑥ 单击操作面板上的“主轴正转”按钮或“主轴反转”按钮，使主轴转动；单击“主轴停止”按钮，使主轴停止转动。



也可采用手轮方式控制机床移动：

单击操作面板上的“显示手轮”按钮，显示手轮，同步骤（4），选择适当的点动距离，单击或按钮选择移动的坐标轴为 X 轴；单击或按钮选择移动的坐标轴为 Z 轴；在手轮上按住鼠标左键，机床向负方向移动；按住鼠标右键，机床向正方向移动。

(2) 数控铣床。

① 与数控车床的前四步操作相同，使机床进入手动/点动方式，完成点动距离的选择。

② 单击操作面板上的、、按钮，选择所需移动的坐标轴；单击操作面板上的或按钮，控制机床向正方向或负方向以点动方式移动。

③ 单击操作面板上的“主轴正转”按钮或“主轴反转”按钮，使主轴转动。

也可以采用手轮方式控制机床移动，其操作方法与数控车床相同。



5.1.3 MDI模式

(1) 单击操作面板上的 MDI 方式按钮，使其指示灯变亮，机床进入 MDI 模式，此时 CRT 界面上显示 MDI 程序编辑窗口。

(2) 单击操作面板上的“显示键盘”按钮，显示键盘，输入指令（操作类似于数控程序输入）。

(3) 输入完一段程序后，单击操作面板上的“运行开始”按钮，运行程序。



5.1.4 轨迹模式

(1) 选择一个数控程序（可以是供编辑的，也可以是供自动加工的），单击 CRT 屏幕上的软键，单击操作面板上的“运行开始”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹。

(2) 可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察。检查运行轨迹时，暂停运行、停止运行、单段执行等功能同样有效。

5.2 数控程序处理

5.2.1 数控程序导入

(1) 单击按钮，在 CRT 界面弹出的主菜单条中单击软键，进入“program Overview”界面，如图 5.4 所示。

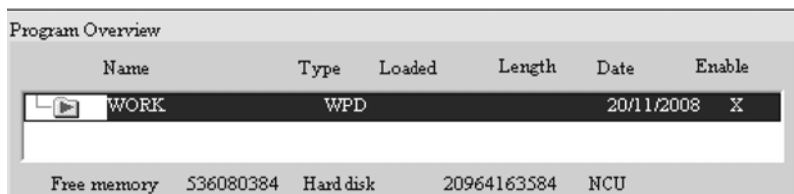


图 5.4

(2) 单击软键 ，再单击软键 ，此时机床处于等待程序导入状态。

(3) 单击菜单“机床/DNC 传送...”，在弹出的如图 5.5 所示的对话框中打开所选择的数控程序，此时程序将被自动导入到指定的文件夹中。



图 5.5

5.2.2 数控程序管理

1. 显示数控程序目录

(1) 单击 按钮，在 CRT 界面弹出的主菜单条中单击软键 ，进入数控程序管理的“program Overview”界面。

(2) 在弹出的子菜单中，单击软键 ，在“program Overview”界面显示文件类型为“WPD”的零件模型文件名列表（零件模型目录）。

(3) 在弹出的子菜单中，单击软键 ，在“program Overview”界面显示文件类型为“MPF”的主程序文件名列表（主程序目录）。

(4) 在弹出的子菜单中，单击软键 ，在“program Overview”界面显示文件类型为“SPF”的子程序文件名列表（子程序目录）。

(5) 在弹出的子菜单中，单击软键 ，在“program Overview”界面显示用户自己设定的数控程序目录。

2. 选择数控程序

(1) 单击操作面板上的“显示键盘”按钮 ，显示键盘。



(2) 单击 按钮，在数控程序目录中，选择所需的数控程序；光标停留在数控程序名上，单击“回车”按钮 ，数控程序可被编辑。

(3) 单击 CRT 界面弹出的软键 ，则选择所需的数控程序。


3. 删除数控程序

(1) 在数控程序目录中，单击  按钮选择所需删除的数控程序。

(2) 选中后，单击 CRT 界面右侧的软键 ，在弹出的子菜单中单击软键 ，弹出如图 5.6 所示的对话框。

(3) 单击软键 ，选中的数控程序被删除；单击软键 ，取消删除操作。

4. 新建数控程序

(1) 在“WPD”类型文件的目录中，单击 CRT 界面右侧的软键 ，弹出如图 5.7 所示的对话框。

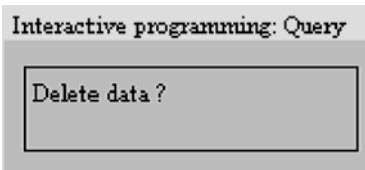


图 5.6

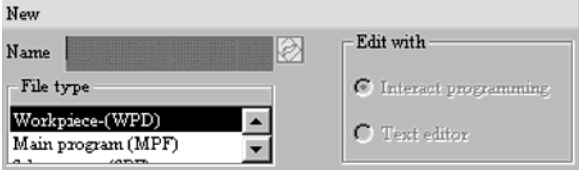










图 5.7




(2) 单击操作面板上的  按钮，显示键盘；通过键盘输入新建程序的文件名，单击  按钮确认。




(3) 单击  按钮后，光标移动到“FileType”框中，单击  和  按钮，选择新建程序的文件类型（WPD/MPF/SPF），单击  按钮确认。

(4) 完成上述步骤后，单击软键 ，数控程序按设定的文件名、文件类型新建文件。单击软键 ，取消新建操作。

如果新建的数控程序名与已有的数控程序名重复，保存时将覆盖原有的同名程序。



5. 加载/卸载数控程序

在数控程序目录中，单击  和  按钮选择所需加载的数控程序，使光标停留在选中的数控程序名上；单击 CRT 界面右侧的软键 ，实现数控程序的加载，此时数控程序目录的“Loaded”栏中出现“X”的标记。

在数控程序目录中，单击  和  按钮选择所需卸载的数控程序（已加载的数控程序才能卸载，此类程序在目录的“Load”栏中有“X”标记），光标停留在要卸载的数控程序名上，单击 CRT 界面右侧的软键 ，完成数控程序的卸载。

5.2.3 数控程序编辑

1. 进入编辑状态

在数控程序目录中，选中所要编辑的的数控程序，单击操作面板上的“显示键盘”按钮 ，显示键盘；单击  按钮，数控程序显示在 CRT 界面中，可进行编辑操作。


2. 移动光标

在数控程序编辑界面中，单击、、、按钮，使光标移动到所需位置。

3. 插入字符


将光标移动到所需插入字符的后一位置处，输入字符，字符将被插在光标前面。

4. 删除字符

将光标移到所需删除的字符处，单击键盘上的按钮，光标处的字符被删除。

5. 查找

(1) 在数控程序编辑界面中，单击 CRT 界面下方的软键，弹出如图 5.8 所示的对话框。

(2) 在对话框中输入所要查找的字符串，单击软键，则系统从光标停留的位置开始查找，找到后，光标停留在所寻找字符串的第一个字符上，且对话框消失。若没有找到，则光标不

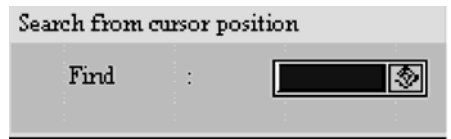
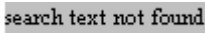







图 5.8


移动，出现显示文本未找到的对话框，单击软键，对话框消失。


(3) 需再次查找时，可单击软键，继续查找在上一步中输入的文本。

6. 块操作


(1) 定义块。将光标移动到需要设置成块的开头处，单击软键，相应字符处光标由红色变为黑色，单击和按钮，将光标向后移动，则起始的字符被定义为块头，结束处的字符被定义为块尾；块头和块尾之间的部分被定义为块，可进行整体的块操作。

(2) 块复制。块定义完成后，单击软键，则整个块被复制。

(3) 块粘贴。块复制完成后，将光标移动到需要粘贴块的位置，单击软键，整个块被粘贴在光标处。

(4) 取消块。块定义完成后想取消块的定义，可再次单击软键，定义的块将被取消。

5.2.4 保存程序

(1) 程序修改完成后，单击软键，则程序被保存。

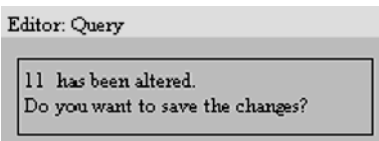






图 5.9

(2) 程序修改完毕，没有单击软键进行保存操作，直接单击软键，则弹出如图 5.9 所示的对话框，单击软键，保存修改完毕的数控程序；单击软键，放弃数控程序的保存。

5.3 参数设置

5.3.1 G54~G57 参数设置

(1) 单击按钮，CRT 界面显示主菜单命令条。

(2) 在主菜单命令条中，单击软键 **Parameter**，进入参数设定界面，在弹出的子菜单中单击软键 **Zero offset**，CRT 界面如图 5.10 所示。

(3) 单击工具条上的 **键盘** 按钮，显示键盘，在键盘里依次单击 **1** 和 **↵** 按钮，选择 G54 参数（数字 1~4 分别为 G54~G57 对应的编号，在“Index”栏中可输入工件坐标系对应的编号），再单击软键 **Settable Zn**，进入 G54 参数设定界面，如图 5.11 所示。

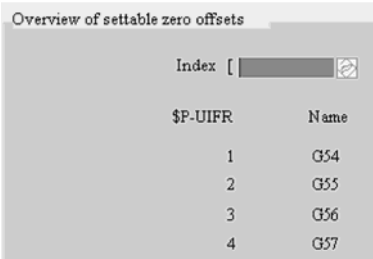


图 5.10

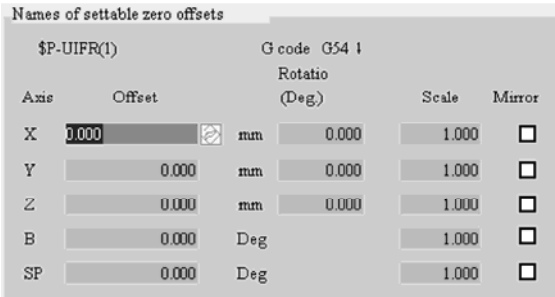


图 5.11

(4) 将光标移动到所需位置，利用键盘输入通过对刀得到的工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值，完成参数设定（对刀方法详见第 3 章）。

(5) 工件坐标系参数设定完成后，单击软键 **Save** 保存，单击软键 **Abort** 取消设置。

5.3.2 刀具参数设置

在刀具补偿参数设定界面中设定了长度补偿或半径补偿后，在数控程序中可直接调用这些参数。刀具参数设置步骤如下：

1. 新建刀具

(1) 单击 **键盘** 按钮，CRT 界面下显示主菜单命令条。

(2) 在主菜单命令条里单击软键 **Parameter**，进入参数设定界面，在弹出的子菜单中单击软键 **Tool compensation**，再单击 CRT 界面右侧的软键 **New tool**，CRT 界面如图 5.12 所示。

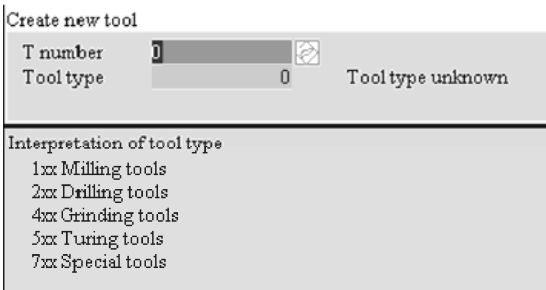


图 5.12

(3) 单击工具条上的 **键盘** 按钮，显示 MDI 键盘，利用 MDI 键盘输入刀具号（刀具号应为数字，输入字母无效），单击 **↵** 按钮确认。

(4) 单击 **↓** 按钮，将光标移至“Tool type”行，输入刀具类型号。

① 刀具类型号在 CRT 界面的下半部分列出。系统提供五种刀具类型供用户选择：以“1”开头的为“铣刀”，以“2”开头的为钻头，以“4”开头的为磨削工具，以“5”开头

的为车刀，以“7”开头的为特殊刀具。

② 输入刀具类型号时，输入完第一个数字，CRT 界面下半部分列出此类刀具的全部型号。若输入的第一个数字不是界面上所列的数字，则 CRT 界面下半部分不会列出相应的刀具类型号。例如，第一个数字输入“1”，则 CRT 界面如图 5.13 所示，刀具类型号只能输入列出的数字，否则出错，无法进入刀具参数设置界面。

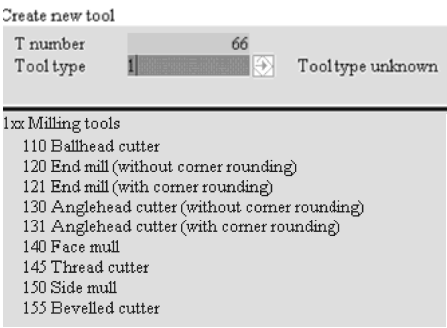



图 5.13

(5) 若刀具类型号输入以“5”开头的数字，则出现“C.edge pos”栏，此时可输入刀尖方位号，单击按钮确认后，光标停留在“C.edge pos”栏中，CRT 界面下半部分出现刀尖方位图，如图 5.14 所示，可根据列出的刀尖方位输入参数（可输入 1~9 的数字）。

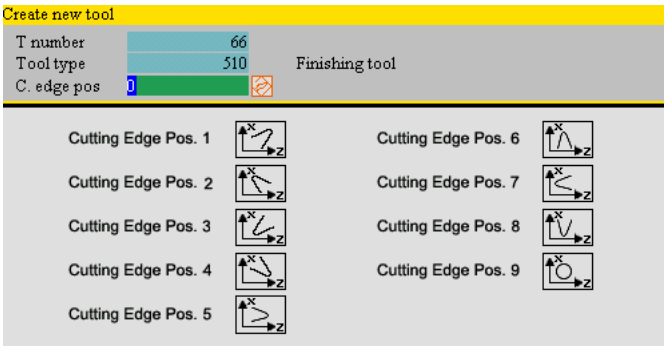



图 5.14

(6) 单击 CRT 界面右侧的软键，进入刀具补偿参数设定界面，如图 5.15 所示。

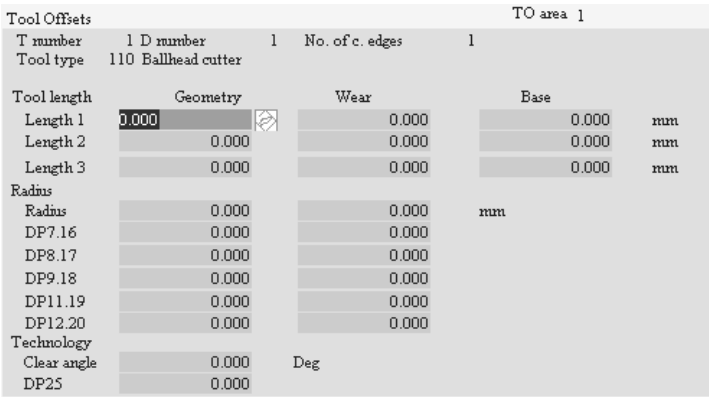






图 5.15



① 在“Tool length/length1”中，利用 MDI 键盘输入所需的长度补偿参数。铣床及加工中心的长度补偿参数只有一个值，设置在 length1 中；车床的长度补偿参数有两个值，length1 中设定的是 X 方向的长度补偿值，length2 中设定的是 Z 方向的长度补偿值。



刀具长度补偿参数由长度偏移参数（Geometry）和磨损量补偿参数(Wear)两部分组成，数控程序中调用刀补参数时，将两者求和后调用。

② 单击  和  按钮，将光标移到“radius”栏中，输入所需的刀具半径补偿参数。

(7) 刀具参数设置切换。新建了一个以上的刀具后，可通过 CRT 界面右侧的软键 ，由当前刀具的参数设定界面进入下一个刀具的参数设定界面；可通过 CRT 界面右侧的软键 ，由当前刀具的参数设定界面进入上一个刀具的参数设定界面。

2. 选择刀具

如果刀具较多，通过单击软键  或  选择刀具则显得太慢，此时，可以使用“Search”命令直接选用所需的刀具。

- (1) 单击软键 ，弹出如图 5.16 所示的界面。
- (2) 利用 MDI 键盘输入所需的刀具号，再单击软键 ，则 CRT 界面上显示所选刀具的参数信息，如图 5.17 所示，可以进行修改。

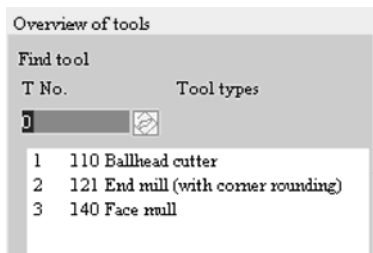


图 5.16

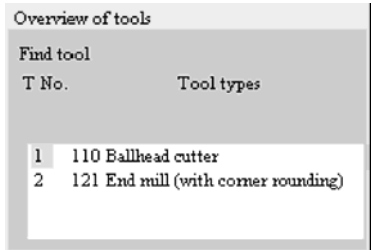








图 5.17

3. 删除刀具

- (1) 用“T no-”或“T no+”或“Search”命令选择需要删除的刀具号，此刀具即为当前刀具，单击软键 ，则当前刀具被删除。
- (2) 用“T no-”和“T no+”命令删除刀具时，当前刀具被删除后，下一个刀具自动变为当前刀具。继续单击软键 ，可以连续删除。
- (3) 用“Search”命令删除刀具时，执行了一次单击软键  操作后，选中的光标不再出现，不可以连续删除。
- (4) 所有刀具都被删除后，CRT 界面上不显示任何信息。

5.3.3 R参数设置

- (1) 单击  按钮，在弹出的主菜单中，单击软键 ，进入参数设置界面。
- (2) 单击软键 ，进入 R 参数设置界面，如图 5.18 所示。

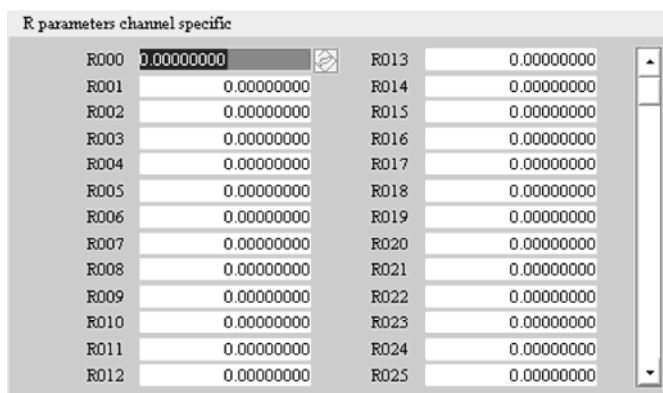


图 5.18

(3) 单击 CRT 界面右侧的 **Search** 软键，弹出如图 5.19 所示的 R 参数选择对话框。



图 5.19

(4) 单击操作面板上的 **键盘** 按钮，显示键盘，输入 R 号（R 号指 R 参数栏中左侧的编号），单击软键 **OK**，光标停留在 R 号对应的行上，此行加亮显示，例如，在“Search”对话框中输入“30”，单击软键 **OK**，则光标移动到 R30 的位置。

(5) 单击键盘输入所需的 R 参数值，单击 **Enter** 按钮确认。

在 R 参数设置界面中，单击软键 **Delete area**，已输入的 R 参数数据被清空。

5.3.4 输入设置参数

(1) 单击 **Menu** 按钮，在弹出的主菜单中，单击软键 **Parameter**，进入参数设置界面。

(2) 在弹出的子菜单中，单击软键 **Setting data**，进入设置参数界面，如图 5.20 所示。

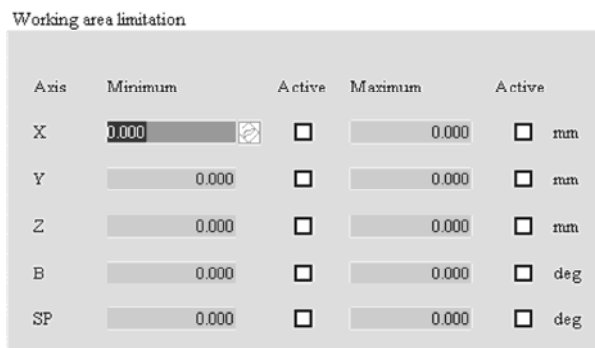


图 5.20

(3) 单击操作面板上的 **键盘** 按钮，显示键盘，单击键盘输入各坐标轴工作的最大值和最小值，单击 **Enter** 按钮确认。

(4) 单击 CRT 界面右侧的软键 **JOG data**，弹出如图 5.21 所示的“Jog data”界面。

Jog data		
G function	G94	
Jog feedrate	1500.000	mm/min
Jog continuous	Continuous mode	
Increment variable	1000	mm
Jog spindle speed	0.000	rpm
Spindle:		
Spindle no.	S1	
Direction of rotation	M5	
Spindle speed	0.000	rpm

图 5.21

(5) 进入“Jog data”界面后，光标初始停留在“G function”栏，单击键盘上的按钮，选择 G94 进给方式或 G95 进给方式（G94 为每分钟进给，G95 为每转进给）。

① 单击按钮，光标停留在“Jog feedrate”栏中，单击键盘在手动方式下输入每分钟（每转）的进给速率，单击按钮确认。

② 单击按钮，光标停留在“Jog continuous”栏中，单击键盘上的按钮，选择 Continuous mode 或 Manual mode 手动连续方式。

③ 单击按钮，光标停留在“Increment variable”栏中，单击键盘输入增量进给速率。

④ 单击按钮，光标停留在“Jog spindle speed”栏中，输入每分钟的转速。

(6) 单击软键，进入如图 5.22 所示的“Spindle data limitation”界面。单击键盘，在对应栏中输入最大转速/最小转速/额定转速，单击按钮确认。

Spindle	Maximum rpm	Minimum rpm	Programmed rpm
S1			

图 5.22

(7) 单击软键，进入如图 5.23 所示的“Dry run feedrate”界面，单击键盘输入空运行时机床的进给速率，单击按钮确认。

(8) 单击软键，进入如图 5.24 所示的“Starting angle for thread”界面，单击键盘输入切削螺纹时的起始度数。

Dry run feedrate	
Dry run feedrate	5000.000

图 5.23

Starting angle for thread	
Starting angle for thread	

图 5.24

5.4 车床仿真

本节的目的是使用户通过在数控加工仿真系统（SIEMENS 810D）车床上仿真加工一个零件，全面熟悉 SIEMENS 810D 系统车床的基本使用方法。

5.4.1 零件车削实例

1. 零件图

将零件按图 5.25 所示进行车削加工。

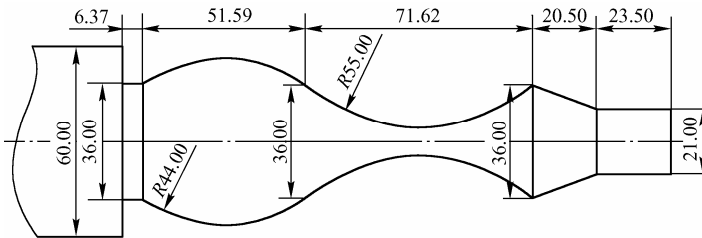


图 5.25

2. 加工准备

采用外圆加工方式，选取刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm，V 号刀片，H 型刀柄。选用圆柱形毛坯：直径 60 mm，长 280 mm。以 G54 定位工件坐标系，原点设在工件右端面的中心。

3. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；装刀具，对刀；设置参数；自动加工。

4. 数控加工程序

```
%_N_lathe810D_MPF
; $PATH=/_N_MPF_DIR
G90 G54 G00 X60.0 Z5.0
S700 M03
X70.0 Z2.0
L210p6
G90 G00 X60.0 Z10.0
M05
M2

%_N_L210_MPF
; $PATH=/_N_MPF_DIR
```

G91 G01 G42 T01D2 X-10.0 F100
X-15.0
X6.0 Z-3.0
Z-23.5
X15.0 Z-20.5
G91 G02 X0 Z-71.62 CR=55.0
G91 G03 X0 Z-51.59 CR=44.0
G01 Z-6.37
X14.0
X6.0 Z-3.0
Z-12.0
X10.0
G90 Z2.0
G91 X-32.0
G40
M17

注：主程序 lathe810D 保存，子程序 L210 以文件名 main.txt、sub.txt 分别保存。

5.4.2 仿真加工步骤



1. 选择机床

单击菜单“机床/选择机床...”，弹出“选择机床”对话框，在“控制系统”选项中选择 SIEMENS 810D，“机床类型”选择车床/标准（斜床身后置刀架），如图 5.26 所示。



图 5.26

2. 机床回零

在操作面板上单击按钮，系统将转入回零模式；打开进给开关，选择 X 轴正向按

钮 **+X**，使 X 轴回零，相应 X 轴的回零指示灯亮，同时，CRT 上的 X 坐标发生变化；同样进行以上操作可以将 Z 轴回零。当全部轴回零后，机床回零指示灯全部熄灭，机床自动转入手动模式，此时，机床 CRT 界面上坐标显示如图 5.27 所示，机床的位置如图 5.28 所示。

MCS	Position	Repos offset
X1	390.000 mm	0.000
		0.000
Z1	300.000 mm	0.000
		0.000
SP	0.000 Deg	0.000

图 5.27

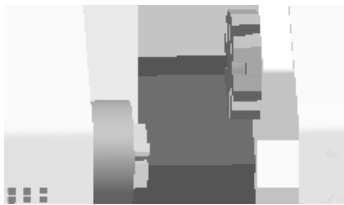


图 5.28

3. 安装零件

(1) 单击“零件/定义毛坯...”菜单，在“定义毛坯”对话框中，如图 5.29 所示，改写零件尺寸为直径 60 mm，长 280 mm，单击“确定”按钮。

(2) 单击“零件/放置零件...”菜单，弹出“选择零件”对话框，如图 5.30 所示，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“安装零件”按钮；界面上出现控制零件移动的面板，如图 5.31(a)所示，可以用其移动零件，使毛坯的伸出端满足加工零件的长度要求，毛坯的伸出长度可通过“零件/测量...”菜单得到，单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床如图 5.31(b)所示，零件已安装在机床三爪卡盘上。

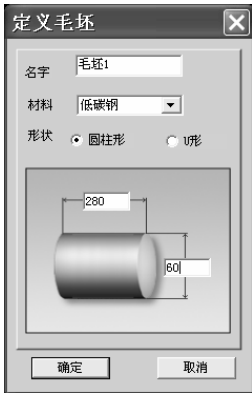


图 5.29



图 5.30

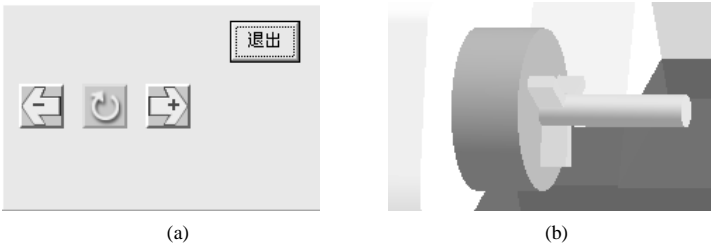


图 5.31

4. 导入数控程序

数控程序可以使用记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，也可直接用 SIEMENS 系统的 MDI 键盘输入。此处分别导入保存的两个文本文件 main.txt 和 sub.txt。

(1) 参见 5.2.1 节导入数控程序 (1)、(2)。

(2) 单击菜单“机床/DNC 传送...”，在“打开文件”对话框中，如图 5.32 所示，选取文件“main.txt”，单击“打开”按钮，然后单击“OK”按钮，导入 main.txt 文件。通过同样方法导入 sub.txt 文件。



图 5.32

(3) 单击“”按钮，单击相对应的软键 ，，刚导入的两个程序如图 5.33 所示。单击  切换机床控制面板，打开 SIEMENS 系统的 MDI 键盘。













Program Overview						
	Name	Type	Loaded	Length	Date	Enable
	L210	MPF		209	25/02/2009	X
	LATHE810D	MPF		84	25/02/2009	X
	PARTPROG1	MPF		0	22/05/2007	X
	PARTPROG2	MPF		0	22/05/2007	X
	SHOW1	MPF		146318	22/05/2007	X
Free memory		478883840	Hard disk	20964163584	NCU	

图 5.33

(4) 单击 MDI 键盘上的 ， 按钮，将光标移动到刚才导入的数控程序 L210 上，再单击软键 ；单击 MDI 键盘上的 ， 按钮，将光标移动到数控程序 LATHE810D 上，单击软键 ，将 LATHE810D 程序设定为当前程序，也可以单击  按钮打开编辑程序界面，如果打开编辑界面，则 CRT 如图 5.34 所示。

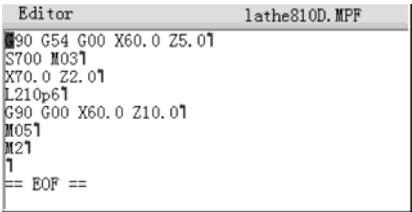


图 5.34

5. 检查运行轨迹


NC 程序导入后,可检查加工运行轨迹。在上一步的基础上单击模拟软键  ,即可观察数控程序的运行轨迹,此时也可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察,运行轨迹如图 5.35 所示。



图 5.35

6. 装刀具 对刀

(1) 装刀具。单击菜单“机床/选择刀具...”，在“车刀选择”对话框中，根据加工方式选择所需的 V 号刀片和 H 型刀柄，输入刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm，单击“确定”按钮后退出。如图 5.36 所示。装好刀具后，机床如图 5.37 所示。

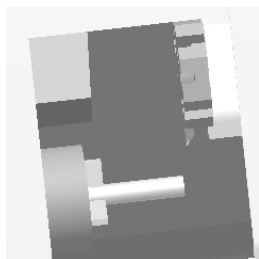
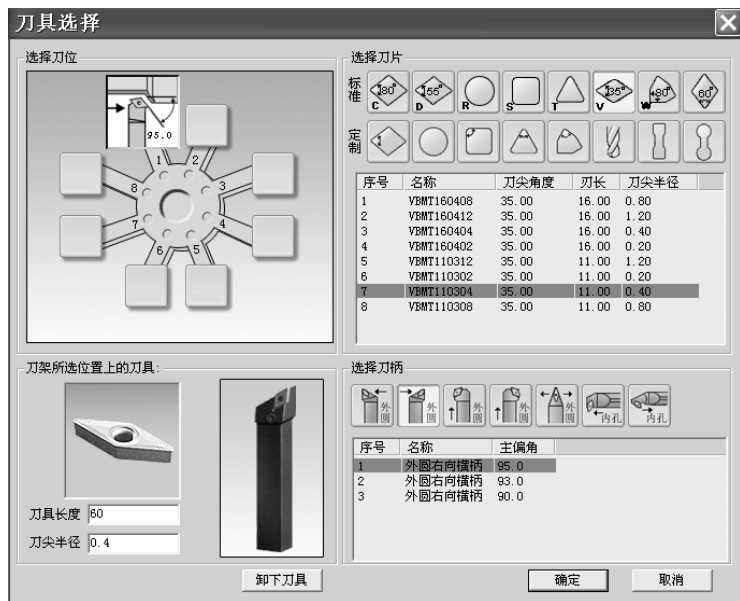


图 5.36 图

图 5.37

(2) 对刀。下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① X 向对刀。

- a. 启动机床并进入手动操作模式，单击控制面板上的 X 轴负向按钮及 Z 轴负向按钮，将机床移到如图 5.38 所示的大致位置。

b. 单击操作面板上的“主轴正转”按钮，使主轴正转；再单击、按钮，用所选刀具试切工件外圆，如图 5.39 所示，此时 CRT 界面上显示的 X1 轴坐标值为

X1 **228.210 mm**；将刀架沿+Z 轴方向退出（X 轴不要移动）。



图 5.38

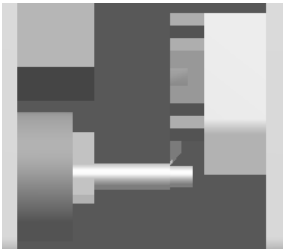



图 5.39

c. 单击操作面板上的“主轴停止”按钮，使主轴停止转动；单击“工艺分析/测量...”菜单，弹出如图 5.40 所示的对话框，在对话框中单击试切外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色，记下下面对话框中对应的 X 值 59.868；X1 的坐标值减去“测量”中读取的 X 的值，即 $228.210 - 59.868 = 168.342$ ，记为 X。

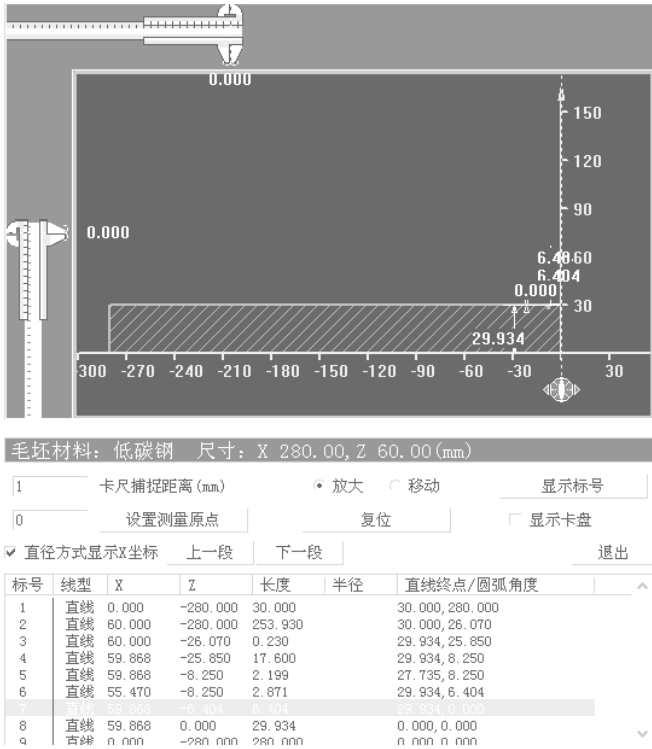




图 5.40

② Z 向对刀。单击控制面板上的按钮，将刀具移至如图 5.41 所示的位置；再单击按钮试切工件端面，如图 5.42 所示，读出 CRT 界面上显示的绝对坐标 Z1 值为：**Z1** **280.700 mm**，记为 Z。

(3) (X, Z) 即 (168.342, 280.700) 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。



图 5.41



图 5.42

7. 设置参数

确定工件与机床坐标系的关系：将对刀得到的工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值（X，Z），确定为机床开始自动加工时的位置。

工件坐标系参数设置具体操作参见 5.3.1 中 G54~G57 参数设置步骤。本例设置 G54 参数，当出现图 5.11 的对话框时，分别在 X、Z 上用 MDI 键盘输入 168.342、280.700，即完成了工作原点坐标的输入，输入数据后如图 5.43 所示。

Names of settable zero offsets					
\$P-UIFR(1)		G code G54			
Axis	Offset		Rotatio (Deg)	Scale	Mirror
X	168.342	mm	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>
Y	0.000	mm	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>
Z	280.700	mm	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>
B	0.000	Deg		1.000	<input type="checkbox"/>
SP	0.000	Deg		1.000	<input type="checkbox"/>

图 5.43

刀具补偿参数设置具体操作参见 5.3.2 刀具参数设置中的新建刀具步骤。当出现图 5.12 对话框时输入刀具号“1”，刀具类型“500”，刀沿号“3”；单击 **OK** 软键，进入刀具补偿设置对话框 **Tool Offsets**，用 MDI 键盘将光标移到半径位置 **Radius**，并输入刀尖半径“0.4”，如图 5.44 所示。

Tool Offsets			TO area 1		
T number	1	D number	1	No. of c. edges	1
Tool type	500 Roughing tool				
C. edge pos	3				
Tool length	Geometry		Wear		Base
Length 1	0.000		0.000		0.000 mm
Length 2	0.000		0.000		0.000 mm
Length 3					
Radius					
Radius	0.400 		0.000		mm
Technology					
Clear angle	0.000		Deg		
DP25	0.000				

图 5.44

8. 自动加工

完成对刀、设置刀具补偿参数、导入数控程序后，就可以开始自动加工了。先将机床回零；单击操作面板上的“自动运行”按钮 **→**，使其指示灯 **→** 亮；单击“循环启动”按钮 **▶**，就可以自动加工了。加工结果如图 5.45 所示。

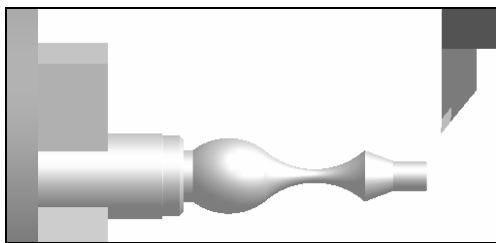


图 5.45

5.5 铣床仿真

本节的目的使用户通过在数控加工仿真系统（SIEMENS 810D）铣床上仿真加工一个零件，全面熟悉 SIEMENS 810D 铣床的基本使用方法。

5.5.1 零件铣削实例

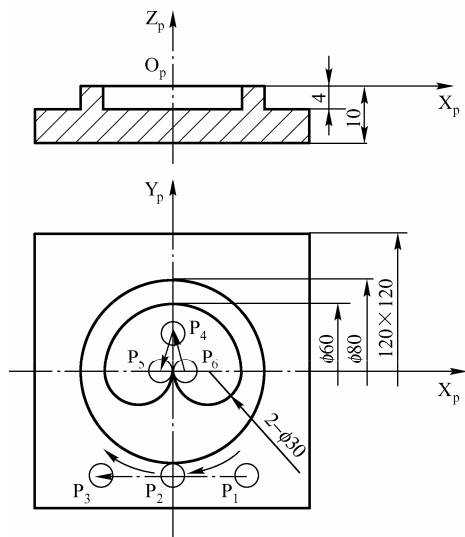


图 5.46

1. 零件图

加工如图 5.46 所示零件的内外轮廓。

2. 加工准备

选用高度为 14 mm、边长为 240 mm 的正方形毛坯，用刀具半径补偿指令编程，使刀具直径为 8 mm。工件坐标系的原点设在毛坯上表面的中心处。

工艺分析：外轮廓沿圆弧切线方向 $P_1 \rightarrow P_2$ 切入，切出时沿切线方向 $P_2 \rightarrow P_3$ ，根据判断，用左侧刀具半径补偿。内轮廓加工时， $P_4 \rightarrow P_5$ 为切入段， $P_6 \rightarrow P_4$ 为切出段，故用右侧刀具半径补偿。外轮廓加工完毕取消左侧刀具半径补偿，待刀具移至 P_4 点，再建立右侧刀具半径补偿。

3. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入 NC 程序；检查运行轨迹；装刀具，对刀；设置参数；自动加工。

4. 数控程序

```
%_N_810Dmill_MPF
;$PATH=/_N_MPF_DIR
N10 G90 G54 X0 Y0 Z100.
N20 G0 Z2
N30 T1 M06
```

N40 D1
N50 S150 M03
N60 G1 X20 Y-44 F100
N65 G01 Z-4
N70 G41 X0 Y-40
N80 G02 X0 Y-40 I0 J40
N90 G40 G1 X-20 Y-44
N100 G0 Z2
N110 X0 Y15
N120 G01 Z-4
N130 G42 X0 Y0
N140 G02 X-30 Y0 I-15 J0
N150 X30 Y0 I30 J0
N160 X0 Y0 I-15 J0
N170 G40 G01 X0 Y15
N180 G0 Z100
N190 X0 Y0
N200 M05
N210 M30

注：将以上文本以文本文件 S810MILLdocu.txt 保存。

5.5.2 仿真加工步骤

1. 选择机床

单击菜单“机床/选择机床...”，弹出“选择机床”对话框，如图 5.47 所示，在“控制系统”选项中选择 SIEMENS 810D 系统，机床类型选择“铣床/标准”，单击“确定”按钮，此时界面如图 5.48 所示。



图 5.47 “机床”菜单及选择机床对话框

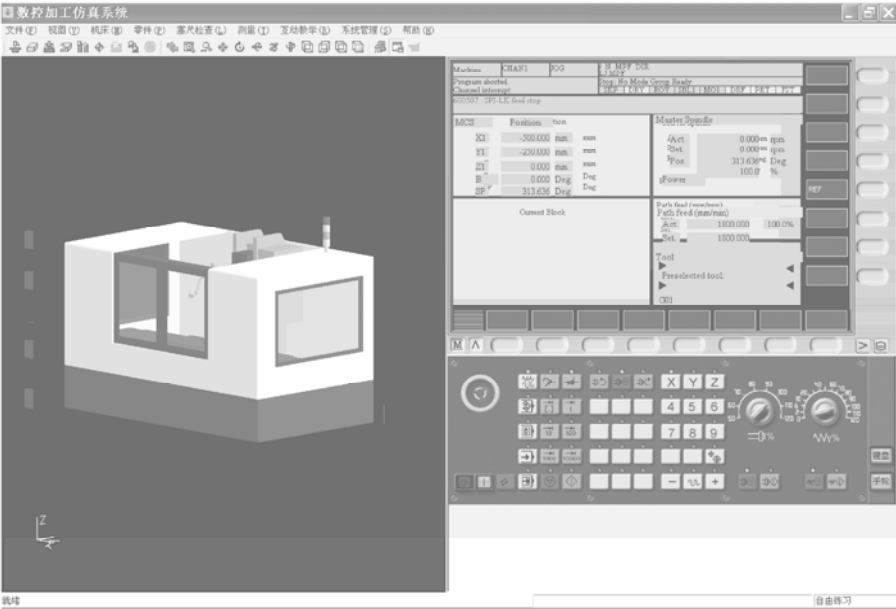





图 5.48 “数控加工仿真系统”软件界面

2. 机床回零

在操作面板上单击按钮，系统将转入回零模式；打开进给开关，选择 X 轴，再单击按钮，此时 X 轴将回零，相应 X 轴的回零指示灯亮，同时，CRT 上的 X 坐标发生变化，同样进行以上操作可以将 Y、Z 轴回零。当全部轴回零后机床回零指示灯全部熄灭，机床自动转入手动模式，此时，机床 CRT 坐标显示如图 5.49 所示，机床的位置如图 5.50 所示（该图为隐藏了机床罩子的状态。在“视图”下拉菜单中单击“选项...”命令，在弹出的视图选项对话框中，去掉“显示机床罩子”前面的对钩，则隐藏机床罩子，否则为显示状态）。

MCS	Position	Repos offset
X1	0.000 mm	0.000
Y1	0.000 mm	0.000
Z1	0.000 mm	0.000
B	0.000 Deg	0.000
SP	0.000 Deg	0.000

图 5.49 CRT 界面上的指示灯

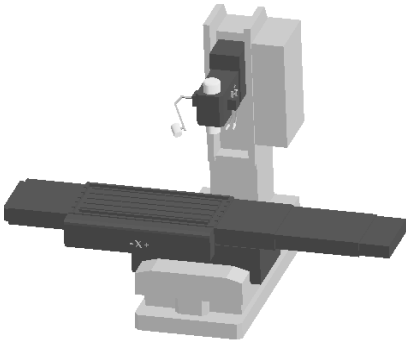


图 5.50 铣床位置

3. 安装零件

(1) 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 5.51 所示的“定义毛坯”对话框中，将零件尺寸改为高 14 mm、长和宽 240 mm，单击“确定”按钮。

(2) 单击菜单“零件/安装夹具...”，弹出“选择夹具”对话框，如图 5.52 所示，在

“选择零件”栏选取“毛坯 1”，在“选择夹具”栏中选取“工艺板”，“夹具尺寸”采用默认值，设置完成后，单击“确定”按钮。



图 5.51 “定义毛坯”对话框

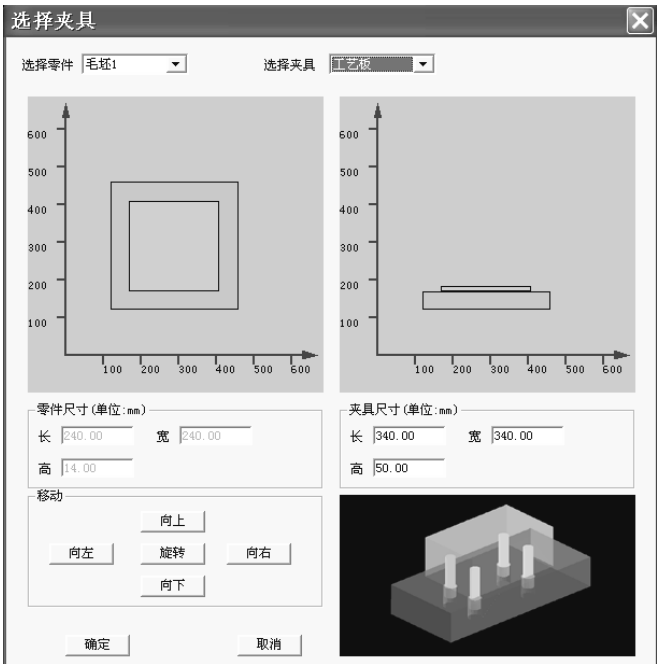


图 5.52 “选择夹具”对话框

(3) 单击菜单“零件/放置零件...”，在“选择零件”对话框中，如图 5.53 所示，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 5.54(a)所示，可以用其移动零件，零件移动到位后，此时单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床如图 5.54(b)所示，零件已放置在机床工作台上。



图 5.53 “选择零件”对话框



(a)



(b)

图 5.54 移动零件面板及机床上的零件

(4) 单击菜单“零件/安装压板”，在“选择压板”对话框中，如图 5.55(a)所示，单击左边的图案，选取安装四块压板，压板尺寸采用默认值，设置完毕后，单击“确定”按钮，此时机床工作台面上的零件已经安装好压板，如图 5.55(b)所示。

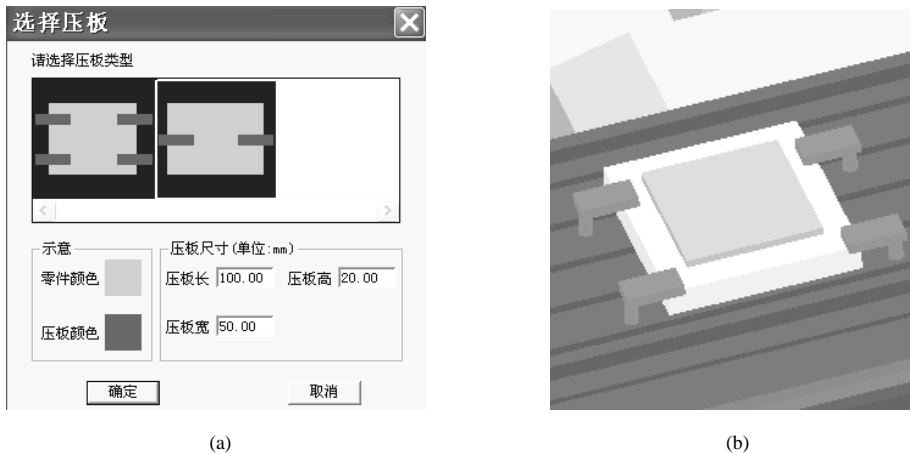


图 5.55 “选择压板”对话框及安装压板后的零件

4. 输入数控程序

数控程序可以使用记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，也可直接采用 SIEMENS 系统的 MDI 键盘输入。

(1) 参见 5.2.1 导入数控程序（1）、（2）。

(2) 单击菜单“机床/DNC 传送...”，在“打开”对话框中，如图 5.56 所示，选取文件“S810MILLdocu.txt”，单击“打开”按钮。




图 5.56

(3) 单击菜单“视图/控制面板切换”；单击相对应的软键 **Program**、**Part program**，单击 **键盘** 按钮切换 SIEMENS 系统的 MDI 键盘。

(4) 单击 MDI 键盘上的 **↑**、**↓** 按钮，将光标移动到刚才导入的数控程序上，再单击软键“Select”，并单击 **→** 按钮，即可打开预先编辑好的数控程序，此时，CRT 界面如图 5.57 所示。

5. 检查运行轨迹

单击 MDI 键盘上的 **↑**、**↓** 键，将光标移动到刚才导入的数控程序上，单击 CRT 屏幕

上的软键^{Simulation}，单击操作面板上的“运行开始”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，如图 5.58 所示。

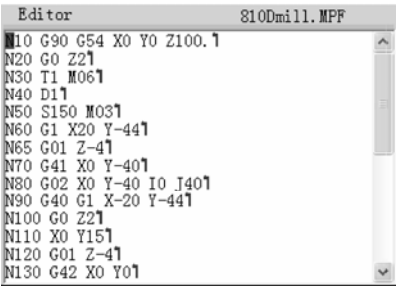


图 5.57

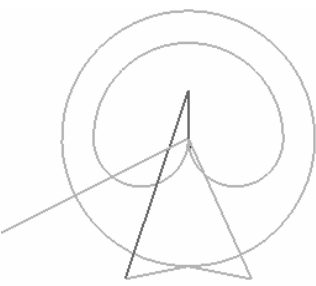








图 5.58

6. 对刀、装刀具

(1) X、Y 轴对刀。

① 单击菜单“机床/基准工具...”，在如图 5.59 所示的“基准工具”对话框中，选取左边的刚性圆柱基准工具，其直径为 14 mm，单击按钮切换到手动模式，利用操作面板上的按钮 ，以及 X、Y、Z 轴的控制按钮  ，将机床移动到如图 5.60 所示的大致位置。

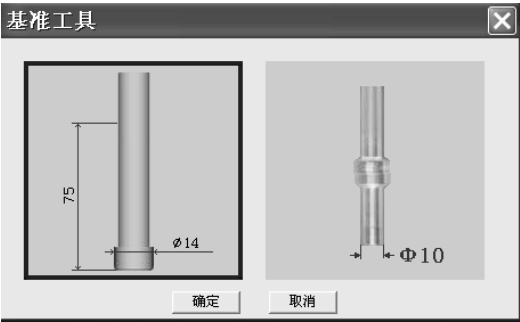


图 5.59

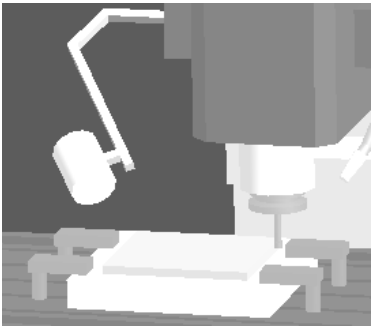


图 5.60







② 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向对刀，将基准工具移动到如图 5.61 所示的位置，通过调节操作面板上的“点动倍率”按钮、、、和 按钮移动基准工具，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，记下此时 CRT 中的 X 坐标：-372.269，即基准工具中心的 X 坐标；故工件坐标系原点的 X 坐标为： $-372.269 - 1$ （赛尺厚度） $- 14/2$ （基准工具） $- 240/2$ （工件） $= -500.269$ 。同样可得到工件坐标系原点的 Y 坐标为 -415.357 。



图 5.61

(2) Z 轴对刀。X、Y 方向完成对刀，单击菜单

“塞尺检查/收回塞尺”收回了塞尺；抬高并单击“机床/拆除工具”拆除基准工具；单击菜单“机床/选择刀具”，选择一把直径为 8 mm 的平底刀，如图 5.62 所示；装好刀具后，机床如图 5.63 所示。用类似方法可得到工件坐标系原点的 Z 坐标为-402.991。



图 5.62

7. 设定参数

(1) 刀具补偿参数的输入。

- ① 单击按钮，CRT 界面下显示主菜单命令条。
- ② 在主菜单命令条里单击软键，进入参数设定界面，在弹出的下级子菜单中单击软键。
- ③ 单击工具条上的按钮，显示 MDI 键盘；使用 MDI 键盘按钮，移动光标至位置，输入刀具半径 4，单击按钮确认，CRT 界面如图 5.64 所示。

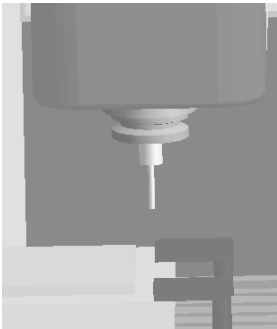


图 5.63

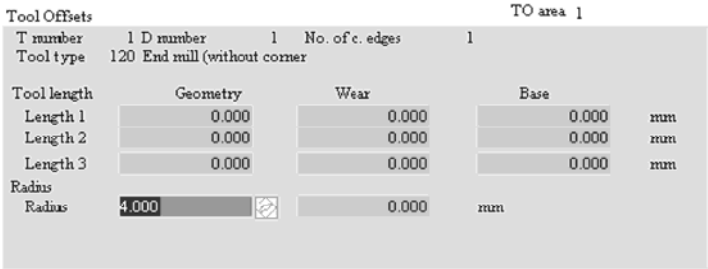




图 5.64

(2) 设置原点坐标

通过 G54~G57 方式确定工件与机床坐标系的关系，完成工作原点的坐标设置，此处采用的是 G54 方法：将对刀得到的工件在机床坐标系中的坐标值，结合工件本身的尺寸，确

定机床开始自动加工时的位置。具体操作参见 5.3.1 G54～G57 参数设置步骤，出现图 5.11 的对话框时，分别在 X、Y、Z 上用 MDI 键盘输入-485，-365，-373，即完成了工件原点的坐标输入，如图 5.65 所示。

8. 自动加工

确定 ☐ DRY: Dry run feedrate 选项处于选中状态，将机床回零，单击操作面板“自动方式”按钮，单击“运行开始”按钮，机床就开始自动加工，加工结果如图 5.66 所示。

Names of settable zero offsets

\$P-UIFR(1)		G code G54			
Axis	Offset		Ratio (Deg.)	Scale	Mirror
X	-485	mm	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>
Y	-365	mm	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>
Z	-373	mm	0.000	1.000	<input type="checkbox"/>
B	0.000	Deg		1.000	<input type="checkbox"/>
SP	0.000	Deg		1.000	<input type="checkbox"/>



图 5.65

图 5.66

习 题 5

- 试述数控车床（SIMENS 810D 系统）对刀的几种方法。
- 试述数控铣床（SIMENS 810D 系统）建立工件坐标系的方法。
- 数控机床（SIMENS 810D 系统）上有哪些功能键、数据输入键和编辑键？
- 数控机床（SIMENS 810D 系统）上有哪些工作方式和控制开关？
- 试述数控机床调整开关的作用。
- 如图 5.67 所示零件，刀尖按“A→B→C→D→E→F”顺序移动，编写加工程序后，在 SIMENS 810D 系统车床上完成仿真加工。
- 如图 5.68 所示零件，运用粗车外圆循环指令编写加工程序，设定切削深度 a_p 为 1 mm，在 SIMENS 810D 系统车床上完成仿真加工。

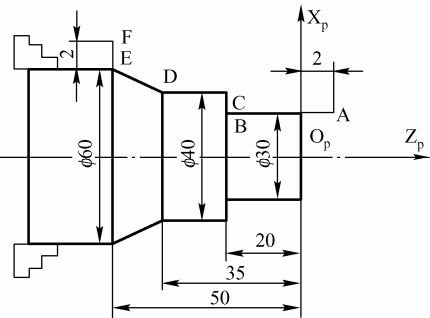


图 5.67

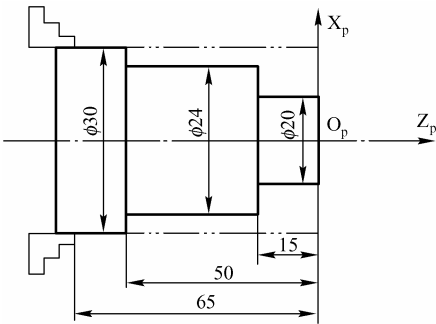


图 5.68 矩形循环应用

- 加工如图 5.69 所示零件外轮廓面，试用刀具半径补偿指令编程并在 SIMENS 810D 系统铣床上完

成仿真加工。

5.9 加工如图 5.70 所示零件内轮廓面，铣刀每次最大切削深度不超过 2 mm，试用子程序编程并在 SIMENS 810D 系统铣床上完成仿真加工。

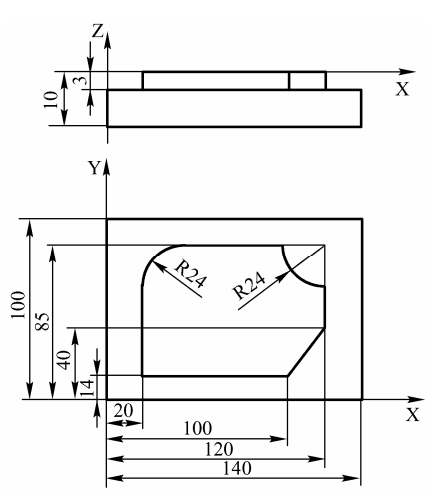


图 5.69

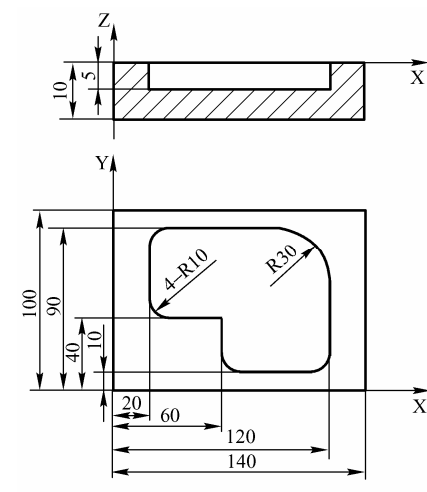


图 5.70


第 6 章 华中数控系统仿真

内容提要

机床操作。数控程序处理。参数设置。华中数控车床仿真。华中数控铣床仿真。

本章主要以华中数控世纪星第 4 代为例进行讲解，早前的版本请查阅《数控机床仿真实训》第 1 版的相关内容。

6.1 机床基本操作

进入华中世纪星数控系统后，操作面板如图 6.1 所示。首先单击“急停”按钮, 解除急停状态才能进行其他操作。

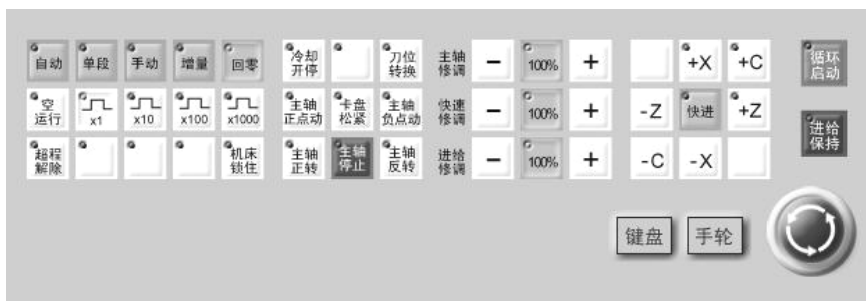






图 6.1 华中世纪星第 4 代数控系统操作面板


6.1.1 自动/手动/单步/连续模式

1. 自动/连续方式




(1) 自动加工方式。


① 检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零（参见 6.1.4 “回零模式”）。检查控制面板上按钮指示灯是否变亮，若未变亮，单击按钮，使其指示灯变亮，进入自动加工模式。




② 单击软键“程序”，切换到自动加工状态。在弹出的下级子菜单中单击软键“程序选择”，在程序文件列表中选择需要的数控程序。

③ 单击按钮，开始进行自动加工。



(2) 中断运行。

① 在程序运行过程中，单击软键“停止运行”，可使数控程序暂停运行，同时弹出如图 6.2 所示的“停止加工”对话框，单击按钮表示取消当前运行的程序；单击按钮

表示当前运行程序不被取消，仍可运行，这时，单击按钮，数控程序从当前行接着运行。停止运行指令在程序校验状态下无效。

② 退出了当前运行程序后，需单击软键“重新运行”，在提示行显示“是否重新开始执行 Y/N? (Y)”，如图 6.3 所示，单击按钮，然后单击按钮，程序将重新开始运行。

(3) 急停。

① 单击“急停”按钮，数控程序中断运行；继续运行时，应先将“急停”按钮松开，再单击按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。因此，系统将不会执行程序前段的调用工件坐标系指令，这样机床将可能超程。


② 在调用子程序的数控程序中，如程序运行到子程序时单击“急停”按钮，则数控程序中断运行，主程序运行环境被取消。恢复运行时，首先将“急停”按钮松开，再单击按钮，数控程序从中断行开始执行，执行到子程序结束处停止，相当于将子程序视做独立的数控程序。



图 6.2

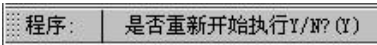

















图 6.3

2. 自动/单段方式

可以通过单段执行来跟踪数控程序的运行过程。












- (1) 检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。
- (2) 单击按钮，使其指示灯变亮，进入自动加工模式。
- (3) 单击软键“程序”，切换到自动加工状态。在弹出的下级子菜单中单击软键“程序选择”，在程序文件列表中选择需要的数控程序。
- (4) 单击按钮，则开始进行自动/单段加工，每执行一行程序均需单击一次按钮。


3. 手动/连续模式






- (1) 单击按钮，切换机床进入手动模式。
- (2) 分别单击 X、Y、Z 轴的控制按钮、、、、、，迅速准确地将机床移动到指定位置。
- (3) 单击、、按钮，控制主轴的正转、停止、反转。




4. 手动/单步模式

在手动/连续加工或对刀时，需要精确调节机床时，可采用增量方式调节机床。


- (1) 使用点动方式精确控制机床移动，单击增量按钮，切换机床进入增量模式；、、、按钮均表示点动的倍率，分别代表 0.001 mm、0.01 mm、0.1 mm、1 mm，单击相应的按钮，同时配合移动按钮、、、、、来移动机床；使用点动




方式移动机床时，手轮的选择旋钮需置于 OFF 挡。

(2) 也可采用手轮方式精确控制机床移动，单击按钮，显示手轮；选择旋钮和“手轮进给速度”旋钮，调节手轮，进行微调使机床移动达到精确；单击按钮，隐藏手轮。

(3) 单击、、按钮，来控制主轴的正转、停止、反转。

6.1.2 MDI模式

(1) 起始状态下单击软键“MDI”，进入 MDI 编辑状态，如图 6.4 所示。

(2) 单击按钮，华中数控系统面板的键盘输入区会在屏幕右侧显示出来，将要编辑的内容输入到输入区中，同时可以进行取消、插入、删除等修改操作。输入指令时，可重复输入多个指令字。若重复输入同一指令字，后输入的数据将覆盖已经输入的数据，重复输入 M 指令也会覆盖以前的指令。输入指令字信息后单击键，对应数据显示在窗口内。例如，输入“G91G1X-100Y-100Z-100F100M3S1000”，然后单击键，如图 6.5 所示。若输入无效指令，系统会弹出“警告”对话框，可以单击回车键或 Esc 键取消警告。

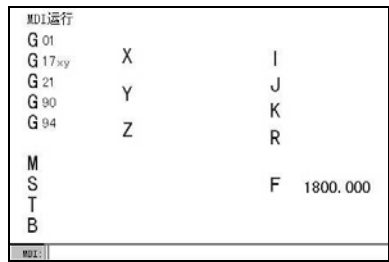


图 6.4

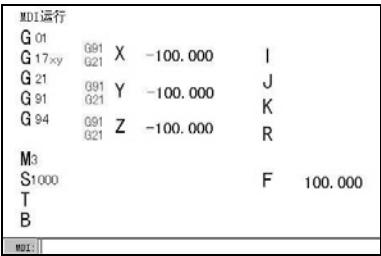









图 6.5



(3) 输入完成后，单击自动模式或单段模式按钮，再单击按钮，系统开始运行输入的 MDI 指令，如果需要暂停程序运行，单击按钮。


(4) 运行完毕后，或在运行过程中单击“急停”按钮中止运行，则返回到如图 6.4 所示的界面，且清空数据。

6.1.3 轨迹模式



在选择了一个数控程序后，需要查看程序是否正确，可以通过查看程序轨迹来判定。

(1) 单击或按钮，进入自动加工模式。



(2) 单击软键“程序”，选择一个数控程序后，单击控制面板上的软键“程序校验”，左侧仿真机床消失。







(3) 单击操作面板上的“运行控制”按钮，即可观察程序的运行轨迹，还可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对运行轨迹进行全方位的动态观察。

6.1.4 回零模式

(1) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，则单击“急停”按钮，将其

松开。

(2) 检查操作面板上指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回零模式；若指示灯不亮，则单击按钮，使回零指示灯亮，转入回零模式。

(3) 在回零模式下，单击控制面板上的按钮，此时 X 轴将回零，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，分别再单击、按钮，可以使 Y、Z 轴回零（车床只有 X、Z 轴），此时、、三个按钮灯亮，表示机床已经回到参考点。进入系统时的 CRT 界面如图 6.6 所示，回零后的 CRT 界面如图 6.7 所示。

工件坐标位置		相对坐标位置	
X	-500.000	X	0.000
Y	-250.000	Y	0.000
Z	0.000	Z	0.000
机床坐标位置		剩余坐标位置	
X	-500.000	X	0.000
Y	-250.000	Y	0.000
Z	0.000	Z	0.000

图 6.6

工件坐标位置		相对坐标位置	
X	0.000	X	500.000
Y	0.000	Y	250.000
Z	0.000	Z	0.000
机床坐标位置		剩余坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Y	0.000	Y	0.000
Z	0.000	Z	0.000

图 6.7

6.2 数控程序处理

华中数控世纪星第 4 代的程序处理与早前的版本有较大的不同，主要体现在以下几个方面。

- (1) 导入数控程序使用 DNC 通信传输，模拟计算机与数控系统的程序传输。
- (2) 文件管理功能中的新建程序、删除程序，新建目录、更改文件名、复制文件等命令都已不再使用。
- (3) 系统弱化了程序编辑功能，修改程序已经不能使用删除一行或一段和查找、替换功能，程序应该尽可能用记事本编辑好再传输。

6.2.1 导入数控程序


单击软键“DNC 通信”，则弹出“串口通信”对话框，如图 6.8 所示，单击“导入程序”按钮，弹出“打开”对话框，如图 6.9 所示，选择要加工的程序，单击“打开”按钮，然后单击“结束 DNC 连接”按钮退出，这样加工程序就导入华中数控系统了。



图 6.8 “串口通信”对话框

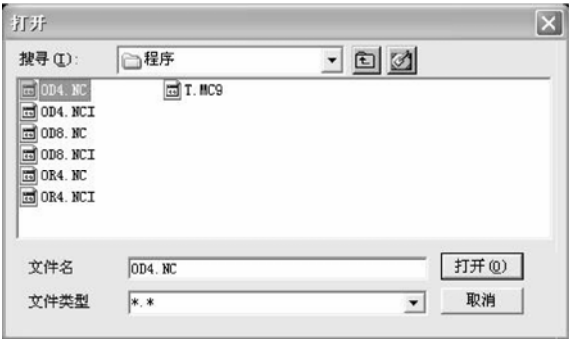


图 6.9 “打开”对话框

6.2.2 程序管理

1. 选择程序

(1) 单击软键 **F1** “程序”，在下级子菜单中单击软键 **F1** “程序选择”，然后在程序列表框中选择所需要的程序，如图 6.10 所示，用方位按钮 **▲**、**▼** 将光标移到需要程序上，单击 **Enter** 按钮选择完毕。

(2) 单击软键 **F2** “程序编辑”，进入程序编辑状态。

2. 新建程序

若要创建一个新的程序，则单击软键 **F1** “程序”，再单击软键 **F2** “程序编辑”，在程序栏输入新程序名，单击 **Enter** 按钮确认，此时 CRT 界面上显示一个空文件，可通过键盘输入所需程序。如果系统已经导入了程序，在单击软键 **F2** “程序编辑”后，再单击软键 **F3** “新建程序”。

3. 删除程序

在 **F1** “程序选择”文件列表框下，单击软键 **Del** 按钮，在提示行显示“您要删除当前文件吗？Y/N (Y)”，如图 6.11 所示，单击软键 **Enter** 按钮或 **Y** 按钮确认删除，单击软键 **N** 按钮取消删除。

当前存储器：	电子盘	DNC	软驱
文件名	大小	日期	
OD4.NC	28K	2009-01-29	
OR4.NC	3K	2009-01-29	

图 6.10 程序列表



图 6.11

4. 保存程序

对数控程序进行修改后，单击软键 **F4** “保存程序”，在提示行中显示本程序的文件名，如果要另存为其他文件，就在提示行中更改其文件名，再单击 **Enter** 按钮，否则直接单击 **Enter** 按钮将程序按原文件名保存。

6.2.3 程序编辑

选择一个需要编辑的程序后，可根据需要对程序进行插入、删除等编辑操作。

- (1) 移动光标。选定了需要编辑的程序，光标停留在程序首行首字符前，单击方位按钮 **▲**、**▼**、**◀**、**▶**，使光标移动到所需的位置。
- (2) 插入字符。将光标移到所需位置，单击控制面板上的键盘，可将所需的字符插在

光标所在位置。

(3) 删除字符。在光标停留处，单击 **BS** 按钮，可删除光标前的一个字符；单击 **Del** 按钮，可删除光标后的一个字符。

6.3 参数设置

6.3.1 坐标系参数设置

(1) 单击软键 **F5** “设置”，进入参数设置界面。

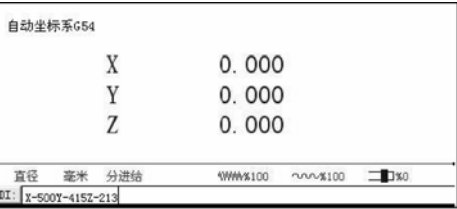


图 6.12

在机床坐标系中的坐标值为 (-500, -415, -213)，需采用 G54 编程，则在自动坐标系 G54 下输入 “X-500Y-413Z-213”。

(5) 单击 **Enter** 按钮，此时输入区中的内容输入到了自动坐标系 G54 中。

6.3.2 车床刀具补偿参数设置及对刀

车床的刀具补偿包括在刀偏表中设定的刀具的偏置补偿，磨损量补偿和在刀补表中设定的刀尖半径补偿，这些参数可供数控程序调用。

1. 输入刀具偏置补偿参数及对刀

每一把车刀装夹在刀架上的位置是不同的，因此需要设置每一把刀的刀尖点相对工件的位置，华中世纪星系统通过车刀试切工件的外圆和端面，并输入相应的试切直径和试切长度，来确定工件坐标系原点在机床坐标系下的位置，也就是 X 偏置和 Z 偏置。而且在程序中不用 G54 来设定工件坐标系，直接使用换刀指令 (T 刀号+刀补号) 调用 X 偏置和 Z 偏置，每一把刀相对工件都有独自的工件坐标系，不用设定标刀，相互不会干扰。具体步骤如下：

(1) 在起始界面下单击软键 **F4** “刀具补偿”，进入刀具补偿界面；单击软键 **F1** “刀偏表” 进入刀偏表设定页面，如图 6.13 所示。

(2) 用车刀试切工件外圆，保持 X 坐标不变，+Z 方向退刀，停止主轴转动，测量被切工件直径，然后使用通过控制面板上的 **▲**、**▼**、**◀**、**▶** 按钮将光标移到对应刀偏号的试切直径处，单击 **Enter** 按钮后，输入测量直径值，再单击 **Enter** 按钮，当前机床坐标系的 “X 坐标-测量直径值” 的结果会自动保存到 X 偏置位置上；同样，试切工件端面，保持 Z 坐标不变，+X 方向退刀，在对应刀偏号的试切长度处单击 **Enter** 按钮，输入长度值（工件坐标系的原

点如果设在右端面，就输入“0”），再单击 **Enter** 按钮，当前机床坐标系的 Z 坐标的结果会自动保存到 Z 偏置位置上。

（3）如果需要对其他刀，只要重复上述方法，把试切直径和试切长度值输入到对应的刀号位置上即可。注意：切断刀和螺纹刀不能试切端面，只能用目测法对刀。

2. 输入磨损量补偿参数

刀具使用一段时间后会磨损，会使产品尺寸产生加工误差，因此需要对刀具设定磨损量补偿，单击软键 **F1** “刀偏表”，进入刀偏表设定界面，如图 6.13 所示；将 X、Z 的磨损值分别输入对应的补偿值区域（方法与输入 X、Z 偏置参数相同）。

刀偏表：						
刀偏号	X偏置	Z偏置	X磨损	Z磨损	试切直径	试切长度
#0001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

MDI:

图 6.13 刀偏表

3. 输入刀尖半径补偿参数

（1）单击软键 **F2** “刀补表” 进入参数设定页面，如图 6.14 所示。

刀补表：		
刀补号	半径	刀尖方位
#0001	0.000	0
#0002	0.000	0
#0003	0.000	0
#0004	0.000	0
#0005	0.000	0
#0006	0.000	0
#0007	0.000	0
#0008	0.000	0
#0009	0.000	0
#0010	0.000	0
#0011	0.000	0
#0012	0.000	0
#0013	0.000	0

直径 毫米 分进给 %100 %100 %0

MDI:

图 6.14 刀补表

（2）使用 **▲**、**▼**、**◀**、**▶** 按钮将光标移到对应刀补号的半径栏中，单击 **Enter** 按钮后，此栏可以输入字符，可通过控制面板上的键盘输入刀尖半径补偿值。

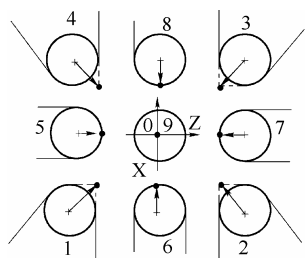


图 6.15 刀尖方位
径补偿参数。

(3) 修改完毕，单击 **Enter** 按钮确认，或单击 **Enter** 按钮取消。

4. 输入刀尖方位参数

车床中刀尖共有九个方位，如图 6.15 所示。数控程序中调用刀具补偿命令时，需在刀补表中设定所选刀具的刀尖方位参数值，见图 6.14。刀尖方位参数值根据所选刀具的刀尖方位参照图 6.15 得到，输入方法同输入刀尖半径补偿参数。

6.3.3 数控铣床及加工中心刀具补偿参数设置

数控铣床及加工中心的刀具补偿包括刀具的半径补偿和长度补偿，补偿参数在刀补表中设定，在起始界面下单击软键 **F1** “刀具补偿”，此时在下级子菜单中可见 **F1** “刀库表”和 **F2** “刀补表”。

1. 输入半径补偿参数

(1) 单击软键 **F2** “刀补表”，进入参数设定页面，如图 6.16 所示。

刀号	组号	长度	半径	寿命	位置
#0000	-1	0.000	0.000	0	-1
#0001	-1	0.000	0.000	0	-1
#0002	-1	0.000	0.000	0	-1
#0003	-1	0.000	0.000	0	-1
#0004	-1	0.000	0.000	0	-1
#0005	-1	0.000	0.000	0	-1
#0006	-1	0.000	0.000	0	-1
#0007	-1	0.000	0.000	0	-1
#0008	-1	0.000	0.000	0	-1
#0009	-1	0.000	0.000	0	-1
#0010	-1	0.000	0.000	0	-1
#0011	-1	0.000	0.000	0	-1
#0012	-1	0.000	0.000	0	-1

直径 毫米 分进给 %100 %100 %0

命令行：

图 6.16 刀具表

(2) 用 **▲**、**▼**、**◀**、**▶** 按钮将光标移到对应刀号的半径栏中，单击 **Enter** 按钮后，通过控制面板上的 MDI 键盘，根据需要输入刀具半径补偿值。

(3) 修改完毕，单击 **Enter** 按钮确认，或单击 **Esc** 按钮取消。

2. 输入长度补偿参数

长度补偿参数在刀补表中按需要输入，输入方法同半径补偿参数的输入。

刀具表从 #0001 行至 #0024 行可输入有效的刀具补偿参数，这些参数可供数控程序调用；数控程序中调用刀具表中 #0000 行参数表示取消参数，因此 #0000 行中不能输入数据。

6.4 车床仿真

本节的目的是使用户通过在数控加工仿真系统（华中数控）车床上实际加工一个零件，快速学习华中数控车床的基本使用方法。

6.4.1 车床仿真实例

1. 零件图

将零件加工成如图 6.17 所示的模型，平面分析图如图 6.18 所示。

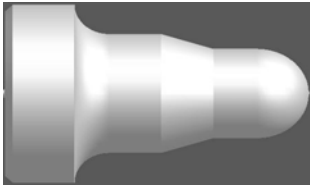


图 6.17 零件图

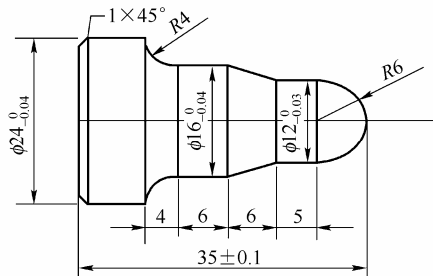


图 6.18 平面分析图

2. 加工准备

该零件应先粗、精加工外圆，再切断。一号刀选取刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm 的 V 号刀片，H 型刀柄。二号刀选取刀尖半径 0.2 mm，切槽宽度 4 mm 刀片，切槽深度 20 mm 刀柄，选择直径 25 mm，150 mm 的圆柱形 45[#]钢毛坯。工件坐标系原点设在右端面中心处。

3. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；选择刀具、对刀；设置参数；自动加工。

4. 数控加工程序

```
O006
M3S800
T0101
G0X26Z1
G71U1R1P1Q2X0.5Z0.2F100
G42G0X-1Z1F60S1200
G1X-1Z0
N1G1X0Z0
G3X12Z-6R6
```

换一号刀并调用一号刀具偏置值；
设定粗加工复合循环起刀点；
G42 调用刀尖半径补偿；设定精加工进给速度和转速；
X-1 是切除零件头部的突起；

G1Z-11
X16W-6
W-6
G2X24W-4R4
N2G1Z-40
G40G0X50Z20
T0202
G0X25Z-35S500
G1X22F40
G0X25
Z-34
G1X24
X22Z-35
X1
G0X50
G0Z20
M30

G40 取消刀尖半径补偿；
换二号刀切断并调出二号刀的刀具偏置值；

不能设为 X0，因为完全切断零件就消失了；

将此数控程序先在记事本中输入，保存文件名为 OC6.txt。

6.4.2 仿真加工步骤

1. 选择机床


单击菜单“机床/选择机床...”，或单击图标，在弹出的如图 6.19 所示“选择机床”对话框中，控制系统选择华中数控（华中数控世纪星 4 代），机床类型选择车床（斜床身后置刀架），此时界面如图 6.20 所示，单击“确定”按钮。



图 6.19 “选择机床”对话框

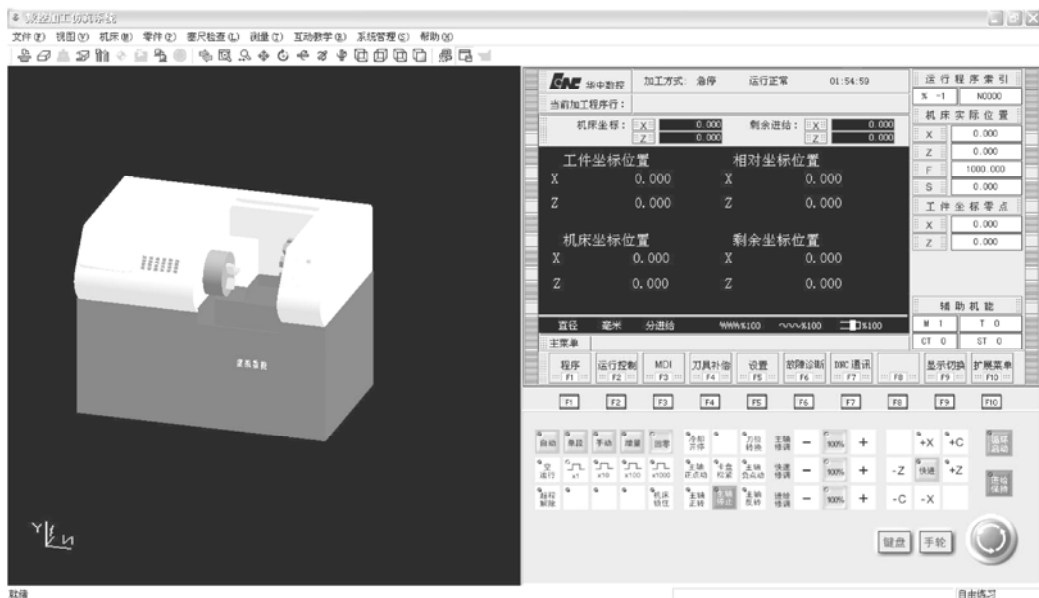








图 6.20

2. 机床回零

- (1) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。
- (2) 检查操作面板上回零指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回零模式；若指示灯不亮，则单击按钮，使指示灯变亮，转入回零模式。在刚进入系统的时候，回零指示灯是常亮的。
- (3) 在回零模式下，单击控制面板上的按钮，此时 X 轴将回零，+X 按钮指示灯亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再单击按钮，可以将 Z 轴回零。此时 CRT 界面如图 6.21 所示。

3. 装夹毛坯

- (1) 单击菜单“零件/定义毛坯...”，或单击图标，在“定义毛坯”对话框中改写零件尺寸为直径 25 mm，长 150 mm，名字为默认值“毛坯 1”，材料选择“45#钢”单击“确定”按钮，如图 6.22 所示。

工件坐标位置		相对坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Z	0.000	Z	0.000
机床坐标位置		剩余坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Z	0.000	Z	0.000

图 6.21 回零后的 CRT 界面

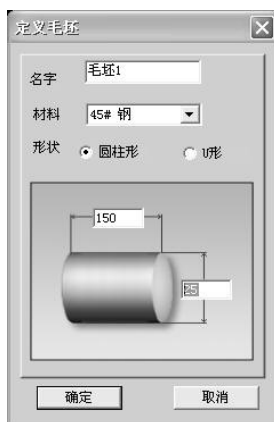


图 6.22 “定义毛坯”对话框





(2) 单击菜单“零件/放置零件...”，或单击图标，在如图 6.23 所示的“选择零件”对话框中，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“安装零件”按钮。接下来界面上出现控制零件移动的面板，如图 6.24 所示，可以按、按钮移动零件，单击按钮调头，当零件移动完毕后，单击面板上的“退出”按钮，该面板关闭，即零件装夹完毕。



图 6.23 “选择零件”对话框



图 6.24 移动零件面板

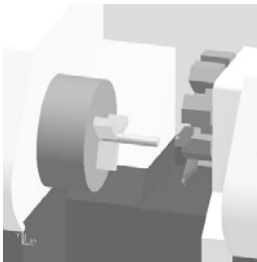

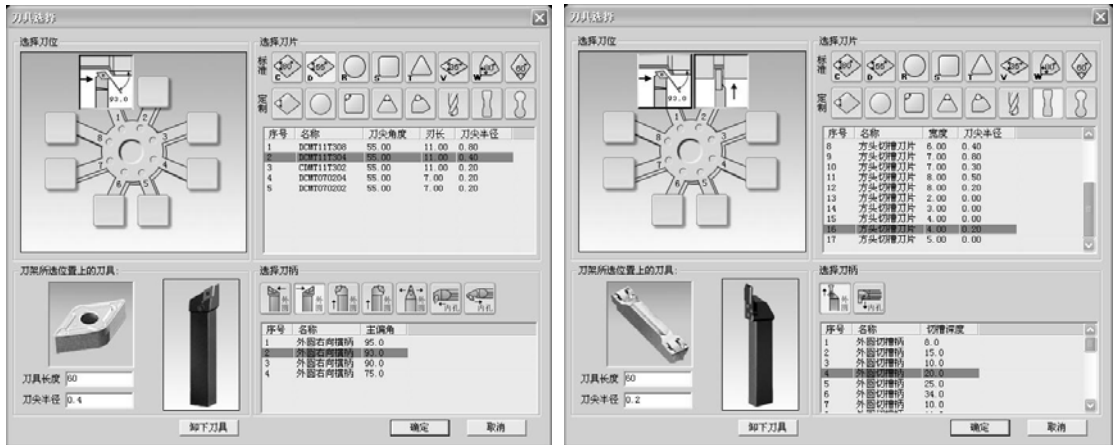


图 6.25 毛坯和刀具安装完毕

4. 选择刀具

单击菜单“机床/选择刀具”，或单击图标，在“选择车刀”对话框中，根据加工工艺要求，一号刀用于粗、精加工外圆，刀片选择 D 型 55°、刀尖半径为 0.4 mm 的刀片，刀柄选择主偏角为 93°外圆右向横柄，刀具长度为 60 mm。如图 6.26(a)所示。二号刀为切断刀，刀片选择宽度为 4 mm、刀尖半径为 0.2 mm 的方头切槽刀片，刀柄选择切槽深度为 20 mm、长度为 60 mm 的外圆切槽柄，单击“确定”按钮后退出，如图 6.26(b)所示。



(a)

(b)

图 6.26 “刀具选择”对话框

毛坯与刀具已安装完毕，如图 6.25 所示，导入程序后就可以进行对刀和加工了。

5. 导入数控程序

(1) 单击软键 **F7** “DNC 通信”，则弹出“串口通信”对话框，单击“导入程序”按钮，弹出“打开”对话框，如图 6.27 所示，选择用记事本编辑好的程序文件“OC6.txt”，单击“打开”按钮，然后单击“结束 DNC 连接”按钮退出，加工程序导入完成。

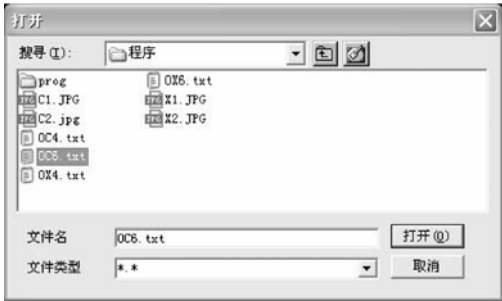




图 6.27 “打开”对话框

(2) 单击软键 **F1** “程序”，在下级子菜单中单击软键 **F1** “程序选择”，然后在程序列表框中选择程序“OC6.txt”，如图 6.28 所示，单击 **Enter** 按钮。

当前存储器：			
电子盘		DNC	软驱
文件名	大小		日期
OC6.txt		1K	2009-02-27

图 6.28

6. 检查运行轨迹

当完成数控程序导入后，单击控制面板上的 **自动** 按钮，切换到自动模式；再单击软键 **F5** “程序校验”，转入程序校验状态，此时左边的仿真机床消失；单击 **编辑** 按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，此时可通过“视图”菜单或工具条  中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对运行轨迹进行全方位的动态观察，通常单击  按钮打开前视图，再放大到满屏观察运行轨迹，如图 6.29 所示。

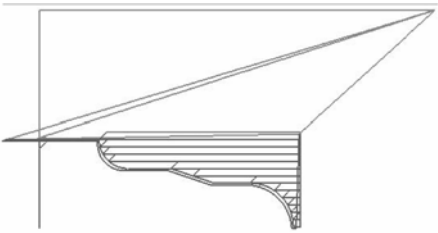


图 6.29 零件加工运行轨迹

如果发现运行轨迹有问题，就要修改程序后再校验。

7. 对刀

下面将说明如何通过对刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

(1) 在起始界面下单击软键 **F4** “刀具补偿”，进入刀具补偿界面；单击软键 **F1** “刀偏表” 进入刀偏表设定页面。

(2) 单击操作面板上的 **手动** 按钮，切换到手动状态；单击 **-x**、**-z** 按钮，使刀具大致移动到右端面可切削零件的位置；单击操作面板上 **主轴正转** 按钮，启动主轴；单击 **-z** 按钮，使车刀试切工件外圆，如图 6.30 所示。用车刀试切工件外圆应保持 X 坐标不变，再向+Z 方向退刀，如图 6.31 所示。接下来测量被切工件直径，单击 **主轴停止** 按钮，停止主轴转动，单击主菜单上的“测量”，再单击“剖面图测量...”，此时弹出对话框提示“是否保留半径小于 1 的圆弧”，如图 6.32 所示，车刀的刀尖在切削工件时会留下一段圆弧，此圆弧半径等于刀尖圆弧半径。这时应该选择“否”，（选择“是”也不会影响直径测量）即会弹出测量窗口，如图 6.33 所示。然后单击刚才试切过的外圆，在下方的测量数据中显示了 X 坐标，也就是直径值为 20.759 mm，记下这个数后单击“退出”按钮。回到刀偏表中，使用控制面板上的 **▲**、**▼**、**◀**、**▶** 按钮将光标移到#0001 号刀的试切直径处，单击 **Enter** 按钮后，输入测量直径值 20.759，再单击 **Enter** 按钮，当前机床坐标系的“X 坐标-测量直径值”的结果会自动保存到 X 偏置位置上,即 $-199.933-20.759=-220.692$ 。



图 6.30



图 6.31



图 6.32

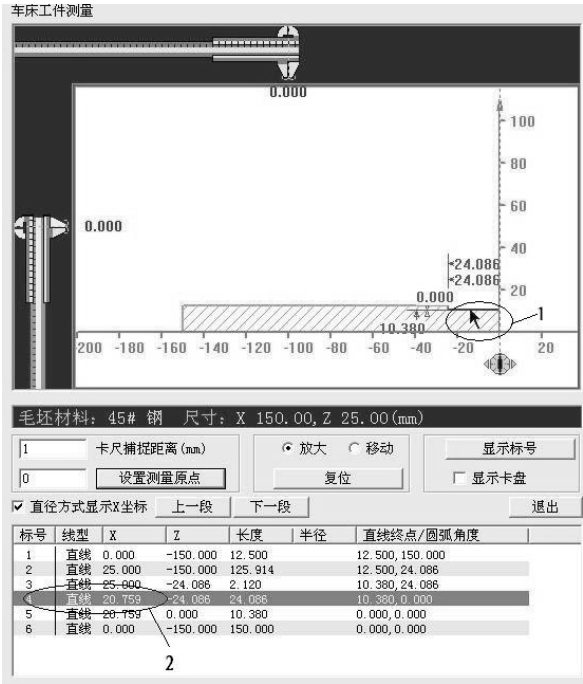


图 6.33 测量窗口

同样，使刀具大致移动到外径上方可切削零件的位置，试切工件端面，保持 Z 坐标不变，+X 方向退刀，如图 6.34 所示。在刀偏表#0001 号刀的试切长度处单击 **Enter** 按钮，因为工件坐标系的原点设在右端面的中心，所以就输入“0”，再单击 **Enter** 按钮，当前机床坐标系的 Z 坐标（-139.6）会自动保存到 Z 偏置位置上。

（3）把刀移到离工件较远的地方，单击 **刀转换** 按钮换二号切断刀，按照和一号刀相同的对刀方法试切工件外圆，如图 6.35 所示。再把测量到的试切直径值 20.137 输入刀偏表中#0002 号刀的试切直径处，系统将把当前 X 坐标（-199.863）-20.137=-220.000 自动输入到 X 偏置。

切断刀对 Z 偏置的方法与外圆刀不同，是不能试切端面的，只能用切断刀的左刀尖点轻碰工件的右端面。首先，单击 **主轴锁紧** 按钮，把切断刀移动到工件右端面附近的位置，用动态缩放 **按钮**和动态平移 **按钮**把零件尽可能放大，再单击 **增量**和 **手轮**按钮打开手轮操作，如图 6.36 所示。转动旋钮和手轮的方法是：单击鼠标左键逆时针旋转一格，单击鼠标右键顺时针旋转一格，按住手轮不动则连续进给。现在把手轮旋钮拨到 Z，速度拨到×10 挡，单击左键按住手轮，使车刀缓慢向工件移动，快接近工件时速度拨到×1 挡，直到刚刚碰到工件并出现铁屑即停止进给，如图 6.37 所示。然后在刀偏表的试切长度处单击 **Enter** 按钮，输入“4”，因为工件坐标系的原点设在右端面，而且二号刀是用右刀尖点编程，所以输入刀片宽度“4”，单击 **Enter** 按钮。至此两把刀的刀具偏置已输入完毕，如图 6.38 所示。然后单击软键 **F10** “返回”。



图 6.34 +X 方向退刀



图 6.35 试切工件外圆



图 6.37

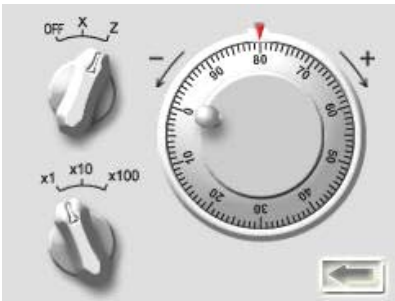


图 6.36

刀偏表:						
刀偏号	X偏置	Z偏置	X磨损	Z磨损	试切直径	试切长度
#0001	-220.692	-139.600	0.000	0.000	20.759	0.000
#0002	-220.000	-144.137	0.000	0.000	20.137	4.000
#0003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
#0013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MDI:						

图 6.38 设置刀具偏置

8. 设置刀尖半径补偿参数

单击软键 **F2** “刀补表”进入刀尖半径补偿参数设定页面，如图 6.39 所示。用方位按钮

▲、▼、◀、▶将光标移到#0001 半径栏中，单击Enter按钮后，将选择车刀时设定的刀尖半径0.4 输入到半径栏，单击Enter按钮。然后将光标移到刀尖方位栏中单击Enter按钮，输入外圆刀的刀尖方位“3”，单击Enter按钮。切断刀不需要输入刀补。完成刀补设置后连续两次单击软键F10“返回”。

刀补表：		
刀补号	半径	刀尖方位
#0001	0.400	3
#0002	0.000	0
#0003	0.000	0
#0004	0.000	0
#0005	0.000	0
#0006	0.000	0
#0007	0.000	0
#0008	0.000	0
#0009	0.000	0
#0010	0.000	0
#0011	0.000	0
#0012	0.000	0
#0013	0.000	0

直径 毫米 分进给 %100 %100 %0

MDI:

图 6.39 设置刀尖半径补偿

9. 自动加工

完成导入数控程序、对刀、设置刀具补偿参数后，即可进行自动加工。首先在控制面板上单击自动按钮，进入到自动加工状态，单击循环启动按钮，即车刀开始按照编程轨迹加工零件。加工完结果见图 6.17。

零件加工完毕后要仔细测量加工精度，如图 6.40 所示。对于不精确的尺寸要分析形成原因并加以改正，这样才能达到使用仿真软件的目的。

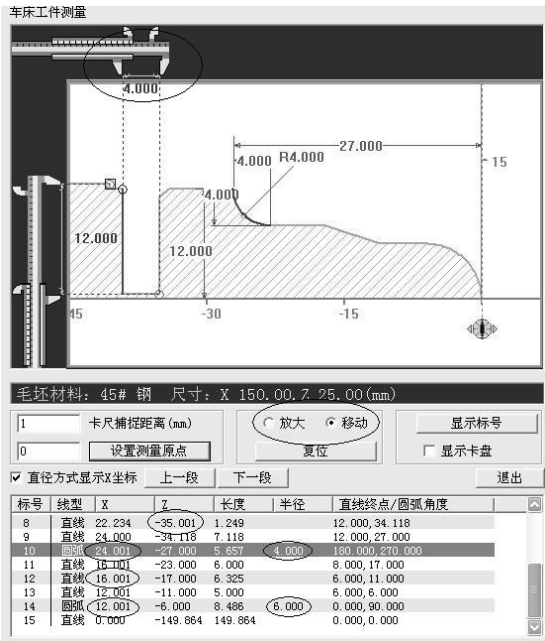


图 6.40 测量加工精度

6.5 铣床仿真

本节的目的是使用户通过在数控加工仿真系统（华中数控）铣床上实际加工一个零件，快速学习华中数控铣床的使用方法。

6.5.1 零件铣削实例

1. 零件图

将零件加工成如图 6.41 所示的凸轮模型，其平面分析图如图 6.42 所示。



图 6.41 零件图

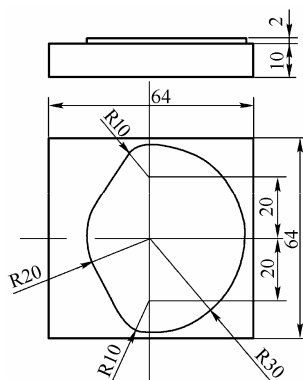


图 6.42 平面分析图

2. 加工准备

选取直径为 10 mm 的平底刀，选择高为 12 mm,长和宽均为 64 mm 的毛坯。采用 G54 定位坐标系。

3. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；装刀具、对刀；设置参数；自动加工。

4. 数控程序

```
O006
N1G54
N2G0G90X-30Y30
N3M3S2000
N4Z2
N5G1Z-2F50
N6Y-30F100
N8X-23Y-36
N9X23
N10X36Y-23
```

N11Y23
N12X23Y36
N13X-23
N14X-30Y30
N15X-21Y30
N17X-22Y12
N20X-13Y27F300
N21G2X0Y35R15
N22Y-35R35
N23X-13Y-27R15
N24G1X-22Y-12
N25G2Y12R25
N26G1X-30
N27Y-15
N28X-20Y-30
N29Z0
N30G0Z30
N31X0Y0
N32M30

将此数控程序在记事本中输入，保存文件名为 OX6.TXT。

6.5.2 仿真加工步骤

1. 选择机床



单击菜单“机床/选择机床...”，或单击图标，弹出的“选择机床”对话框，如图 6.43 所示，在对话框中，控制系统选择华中数控世纪星 4 代，单击“确定”按钮，此时界面如图 6.44 所示。为了更好地观察机床，我们最好不要显示机床罩，可以单击“视图/选项...”或单击图标，再勾消“显示机床罩子”，如图 6.45 所示。



图 6.43 “选择机床”对话框

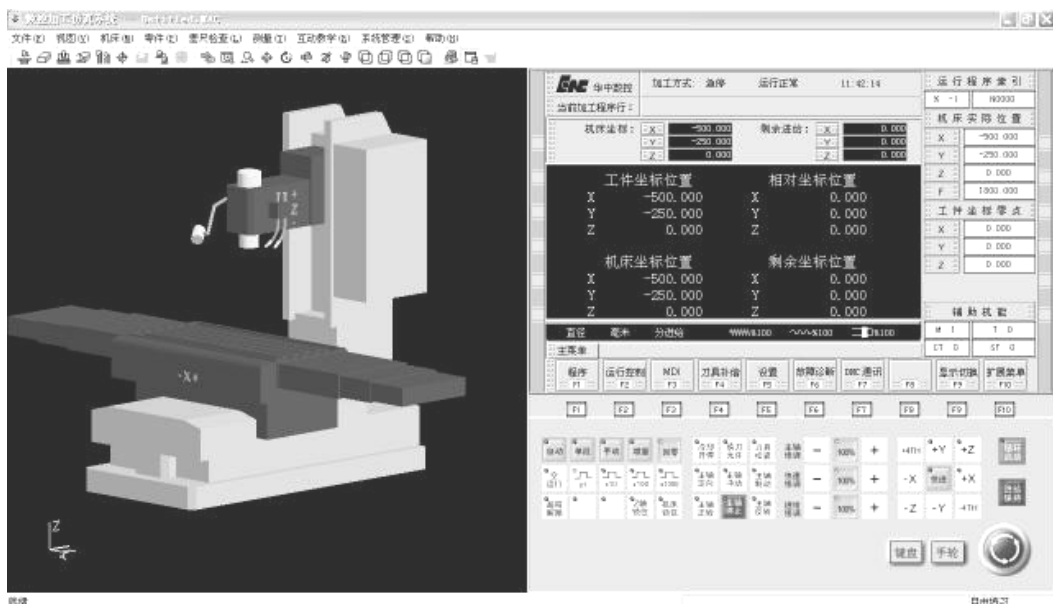







图 6.44

2. 机床回零

(1) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

(2) 检查操作面板上回零指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回零模式；若指示灯不亮，则单击按钮，转入回零模式。

(3) 在回零模式下，单击控制面板上的按钮，此时 X 轴将回零，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，分别再单击、按钮，可以将 Y、Z 轴回零。此时 CRT 界面如图 6.46 所示。

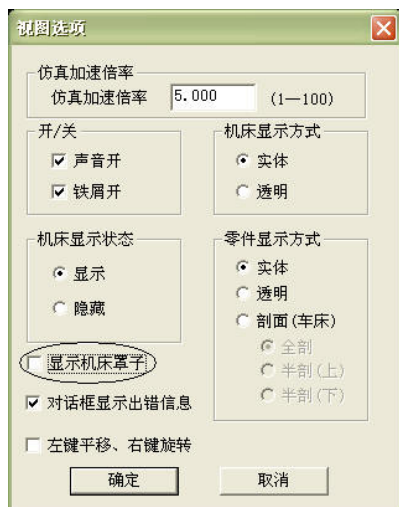


图 6.45

工件坐标位置		相对坐标位置	
X	0.000	X	500.000
Y	0.000	Y	250.000
Z	0.000	Z	0.000
机床坐标位置		剩余坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Y	0.000	Y	0.000
Z	0.000	Z	0.000

图 6.46

3. 安装零件

(1) 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 6.47 所示的“定义毛坯”对话框中将零件尺寸改为高 12 mm、长和宽 64 mm，名字为默认值“毛坯 1”，材料选择“45#钢”，单击“确定”按钮。

(2) 单击菜单“零件/安装夹具...”，在如图 6.48 所示的“选择夹具”对话框中，“选择零件”栏选取“毛坯 1”，“选择夹具”栏选取“工艺板”，夹具尺寸采用默认值，设置完毕后，单击“确定”按钮。

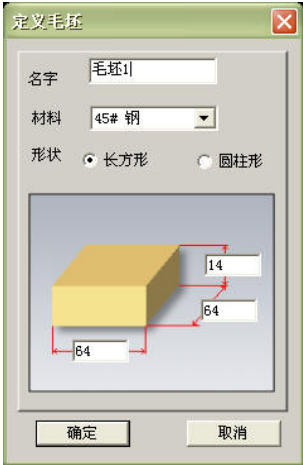


图 6.47 “定义毛坯”对话框

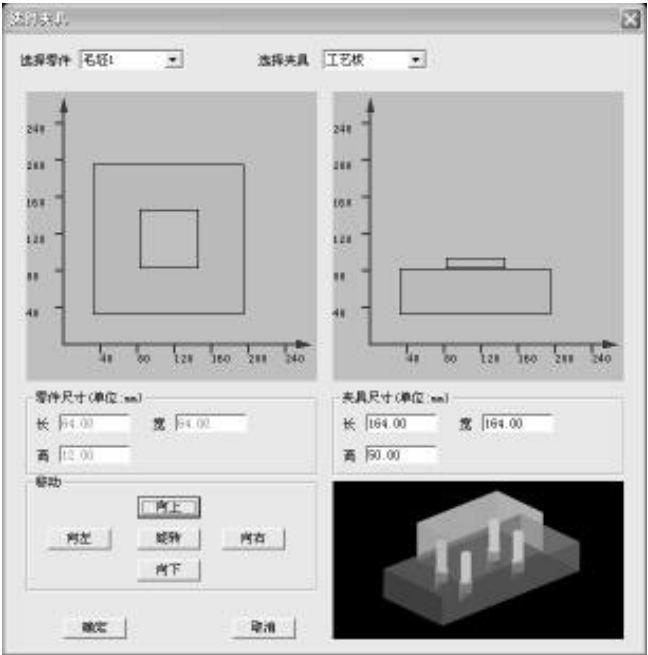


图 6.48 “选择夹具”对话框

(3) 单击菜单“零件/放置零件...”，在“选择零件”对话框中，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，如图 6.49 所示。这时界面上出现控制零件移动的面板，如图 6.50 所示，可以用其移动零件，零件移动好以后，单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床如图 6.51 所示，零件已放置在机床工作台上。



图 6.49 选取毛坯



图 6.50 移动面板

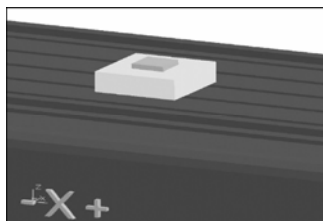


图 6.51

(4) 单击菜单“零件/安装压板”，打开“选择压板”对话框，因为工件较小，所以不能安装太多压板，而且还要选择较小的压板，单击第五个图案，选取安装两块压板，压板尺寸如图 6.52 所示，单击“确定”按钮。此时机床台面上的零件已安装好压板，如图 6.53 所示。



图 6.52 “选择压板”对话框

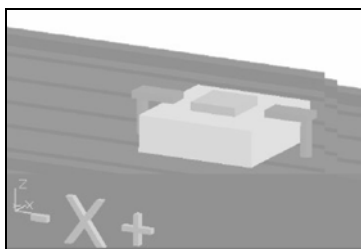


图 6.53

4. 导入数控程序

单击软键 **F7** “DNC 通信”，则弹出“串口通信”对话框，如图 6.54 所示，单击“导入程序”按钮，弹出“打开”对话框，如图 6.55 所示，选择刚才在记事本中保存的程序“OX6.TXT”，单击“打开”按钮，然后单击“结束 DNC 连接”按钮退出，这样加工程序就导入华中数控系统了。



图 6.54 “串口通信”对话框

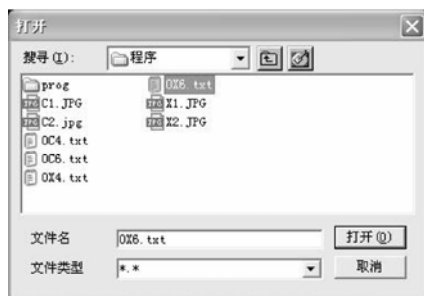


图 6.55 “打开”对话框

5. 检查运行轨迹






单击控制面板上的 **自动** 按钮，切换到自动状态；完成数控程序导入后，软键 **FS** “程序校验”突显出来，单击此软键，转入程序校验状态；单击 **循环启动** 按钮，即可观察数控程序的运

行轨迹，运行轨迹如图 6.56 所示。

6. 选择刀具、对刀

下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

(1) X、Y 轴对刀。

① 单击菜单“机床/基准工具...”，或单击图标，在“基准工具”对话框中选取左边的刚性圆柱基准工具；单击操作面板上的按钮，切换到手动状态；单击、、按钮，将机床移动到如图 6.57 所示的大致位置。

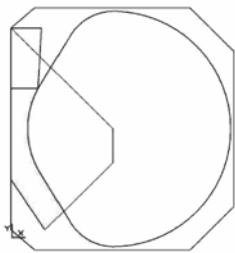


图 6.56 运行轨迹

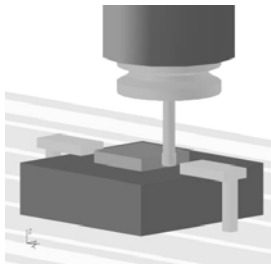


图 6.57

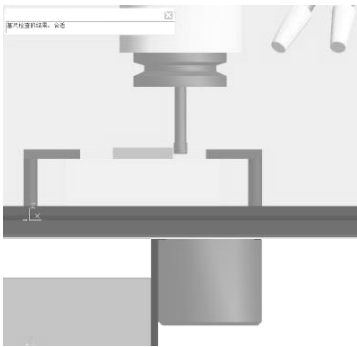














图 6.58

② 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向对刀。先采用点动方式移动机床，将基准工具移动到如图 6.58 所示的位置；然后，单击操作面板上的按钮，切换到增量状态，通过调节操作面板上的“倍率”按钮、、和按钮，采用点动方式移动机床，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”。



也可以单击按钮，显示手轮，选择旋钮和手轮移动量旋钮，调节手轮。使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”。

记下塞尺检查为“合适”时 CRT 中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1，其值为-460.00。




③ 单击按钮，切换到手动状态；单击按钮，将工件提起；单击按钮，将刀具移到工件另一边，重复上述步骤，记下此时 X 的坐标，记为 X2，其值为-540.00；由此得到工件坐标系原点的 X 坐标为 $(X2+X1)/2$ ，记为 X，其值为 $(-460.00-540.00)/2 = -500.00$ 。

④ Y 方向对刀采用同样的方法，可得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y，其值为-415.00。

(2) Z 轴对刀。

① X、Y 方向完成对刀后，单击按钮，切换到手动状态；单击按钮，抬高 Z 轴，再单击菜单“机床/拆除工具”拆除基准工具。

② 单击菜单“机床/选择刀具”，或单击图标，在“选择铣刀”对话框中，根据加工方式选择所需直径为 10 mm 的平底刀，单击“确认”按钮后退出，如图 6.59 所示。

③ 装好刀具后，分别单击、、按钮，将机床大致移动到工件上方；进行塞尺

检查，得到工件上表面的 Z 坐标值，记为 Z1，其值为-395.00,得到工件中心的 Z 坐标为 Z1-塞尺厚度。得到工件的 Z 坐标，记为 Z，其值为-395.00-1.00=-396.00。这时收回塞尺。

以上得到的 (X, Y, Z) 即 (-500, -415, -396) 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。



图 6.59 “选择铣刀”对话框

7. 设置参数

此处采用的是 G54 方法：将对刀得到的工件坐标系在机床坐标系中的坐标数据 (X, Y, Z)，即 (-500, -415, -396) 输入到自动坐标系 G54 中。刀具补偿参数默认为 0。

(1) 输入 G54 工件坐标原点。

- ① 单击软键 **F5** “设置”，再单击软键 **F1** “坐标系设定”，进入自动坐标系设置界面。
- ② 单击 MDI 键盘，输入 G54 的值：“X-500Y-415Z- 396”，单击 **Enter** 按钮确认，完成数据输入。此时 CRT 界面如图 6.60 所示。

(2) 输入刀尖半径补偿参数。

- ① 单击软键 **F4** “刀具补偿”，再单击软键 **F2** “刀补表”进入刀具表设定页面，如图 6.61 所示。

自动坐标系G54	
X	-500.000
Y	-415.000
Z	-396.000

图 6.60

刀具表：					
刀号	组号	长度	半径	寿命	位置
#0000	F1	0.000	0.000	0	-1
#0001	-1	0.000	0.000	0	-1
#0002	-1	0.000	0.000	0	-1
#0003	-1	0.000	0.000	0	-1
#0004	-1	0.000	0.000	0	-1
#0005	-1	0.000	0.000	0	-1
#0006	-1	0.000	0.000	0	-1
#0007	-1	0.000	0.000	0	-1
#0008	-1	0.000	0.000	0	-1
#0009	-1	0.000	0.000	0	-1
#0010	-1	0.000	0.000	0	-1
#0011	-1	0.000	0.000	0	-1
#0012	-1	0.000	0.000	0	-1
直径 毫米		分进给	分退给	分退给	分退给

图 6.61 刀具表

② 用方位按钮 ◀、▶、▼、▲ 将光标移到半径栏中，单击 **Enter** 按钮后，输入半径补偿值。将选择刀具时设定的刀尖半径 5 mm 输入到第二行的半径栏中，（刀尖半径可在选择铣刀界面下方读出刀尖直径除以 2 得到）；单击 **Enter** 按钮确定。程序中没有使用 G42、G42 指令，所以可以不设置刀具表。

8. 自动加工

单击 **自动** 按钮，切换到自动加工状态；单击 **循环启动** 按钮即开始自动加工。加工结果见图 6.41。

习 题 6

- 6.1 试述数控车床（华中系统）对刀的几种方法。
- 6.2 试述数控铣床（华中系统）建立工件坐标系的方法。
- 6.3 数控机床（华中系统）上有哪些功能键、数据输入键和编辑键？
- 6.4 数控机床（华中系统）上有哪些工作方式和控制开关？
- 6.5 试述数控机床（华中系统）导入数控程序的几种方法。

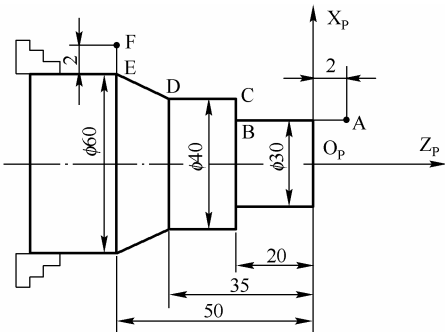


图 6.62

6.6 如图 6.62 所示零件，刀尖按 “A→B→C→D→E→F” 顺序移动，编写加工程序后，在华中系统车床上完成仿真加工。

6.7 如图 6.63 所示零件，运用粗车外圆循环指令编写加工程序，设定切削深度 a_p 为 1 mm，在华中系统车床上完成仿真加工。

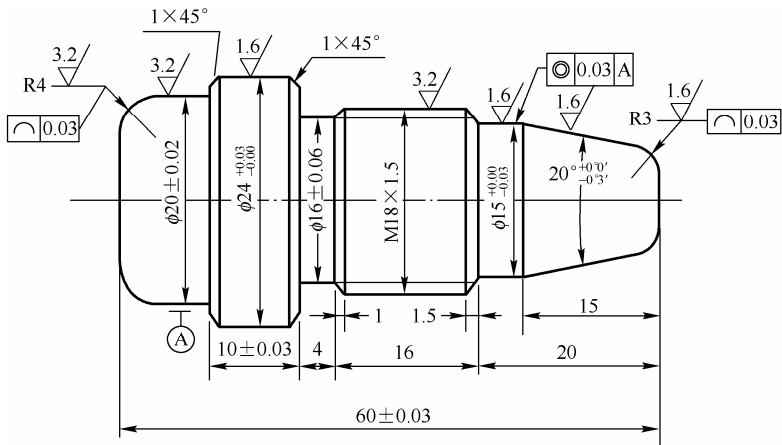


图 6.63

6.8 加工如图 6.64 所示零件外轮廓面，试用刀具半径补偿指令编程并在华中系统铣床上完成仿真加工。

• 179 •

第 7 章 数控车床仿真编程、加工实例

内容提要

典型数控车床仿真加工实例。利用子程序编程与加工。公、英制螺纹的编程与加工。复杂零件的编程与加工。

7.1 数控车床综合加工实例

如图 7.1 所示的零件，材料为 45[#]钢，其中 $\phi 85$ 圆柱面不加工。要求分析工艺过程与工艺路线，编写加工程序，并完成仿真加工。

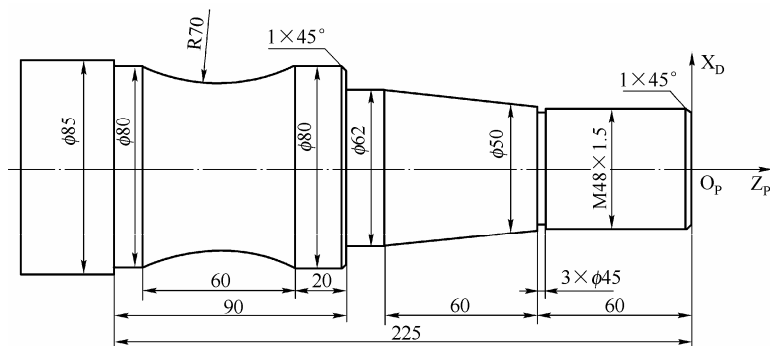


图 7.1 零件图

7.1.1 零件加工工艺分析

1. 设定工件坐标系

根据基准重合原则，将工作坐标系的原点设定在零件右端面与回转轴线的交点上，如图 7.1 中 O_P 点，并设定换刀点相对工件坐标系原点 O_P 的坐标位置为 (100,10)。

2. 选择刀具

根据零件图的加工要求，需要加工零件的端面、圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹、倒角以及切割螺纹退刀槽，共需用三把刀具：

1 号刀：外圆左偏刀，选取刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm 的 V 号刀片，J 型刀柄；

2 号刀：公制螺纹车刀，选取刀尖角为 60° ，刀尖半径 0 mm，刀具长度 60 mm；

3 号刀：割槽刀，选取刀片伸出长度为 10 mm，宽度为 3 mm，刀尖半径 0 mm，刀具长

度 60 mm。

3. 加工方案

采用三爪卡盘夹紧定位，工件前端面距卡爪端面距离 230 mm；使用 1 号外圆左偏刀，先粗加工后精加工零件的端面和零件各段的外表面，粗加工时留 0.8 mm 的精车余量；使用 3 号割槽刀切削螺纹退刀槽；然后使用 2 号螺纹车刀加工其螺纹。

4. 确定切削用量

切削深度：粗加工设定切削深度为 3 mm，精加工设定切削深度为 0.8 mm。

主轴转速：根据 45[#]钢的切削性能，粗、精加工端面和各段外圆表面时，设定切削速度为 500 r/min；切槽加工时切削速度设为 300 r/min；车螺纹时设定主轴转速为 300 r/min。

进给速度：粗加工时设定进给速度为 200 mm/min；精加工时设定进给速度为 50 mm/min；车削螺纹时设定进给速度为 1.5 mm/r。

7.1.2 编程与仿真操作

1. 编制程序

如表 7-1 所示为图 7.1 中的零件的加工程序。

表 7-1 加工程序

程 序	注 释
S500 M03	主轴正转，转速设定为 500 r/min
T0101	选择 1 号外圆左偏刀和 1 号刀补
G00 X86. Z0.	刀具快速定位至切削位置
G01 X0. F50	车端面
G00 Z1.	Z 向退出 1 mm
G00 X86.	X 向退到 86 mm 处，准备外圆切削循环
G71 U3. R1.	外圆切削粗加工循环，切削深度为 3 mm,退刀量为 1 mm
G71 P1 Q2 U0.8 W0.1 F100	外圆切削粗加工循环， X、Z 方向各留 0.8 mm、0.1 mm 精加工余量
N1 G00 X43.8 G42	切削速度为 100 mm/min，刀尖半径右补偿，N1~N2 为外圆切削循环精加工路线
G01 X47.8 Z-1.	
Z-60.	
X50.	
X62. Z-120.	
Z-135.	
X78.	
X80. Z-136.	
Z-155.	
G02 Z-215. R70.	
G01 Z-225.	
X86.	取消刀尖半径补偿
N2 G40	外圆切削精加工循环，切削速度为 50 mm/min
G70 P1 Q2 F50	

程 序	注 释
G00 X100. Z10.	刀具返回至换刀点
T0303 S300	选择 3 号割槽刀和 3 号刀补, 转速设定为 300 r/min
G00 X52. Z-60.	快进到 X52、Z-60 处, 准备割槽
G01 X45.	切割螺纹退刀槽
G04 X2.	在槽底暂停 2s
G00 X52.	X 方向退回到 52 mm 处
X100. Z10.	刀具返回到换刀点
T0202	选择 2 号螺纹车刀和 2 号刀补
G00 X50. Z3.	快进到 X=50、Z=3 处, 准备车削螺纹
G76 P010260 Q25 R0.05	螺纹切削循环
G76 X46.38 Z-58.5 P1000 Q350 F1.5	
G00 X200. Z10.	快退到换刀点, 取消 2 号刀刀补
T0200	
M05	主轴停止
M30	程序结束

将此数控程序先在记事本中输入，文件名为 71.txt。

2. 仿真加工

下面利用“数控加工仿真系统（FANUC 0i）车床”来介绍具体操作过程。

（1）选择机床。如图 7.2(a)所示，单击菜单“机床/选择机床...”，在“选择机床”对话框中，控制系统选择 FANUC 0i，机床类型选择车床，单击“确定”按钮，此时界面如图 7.3 所示。

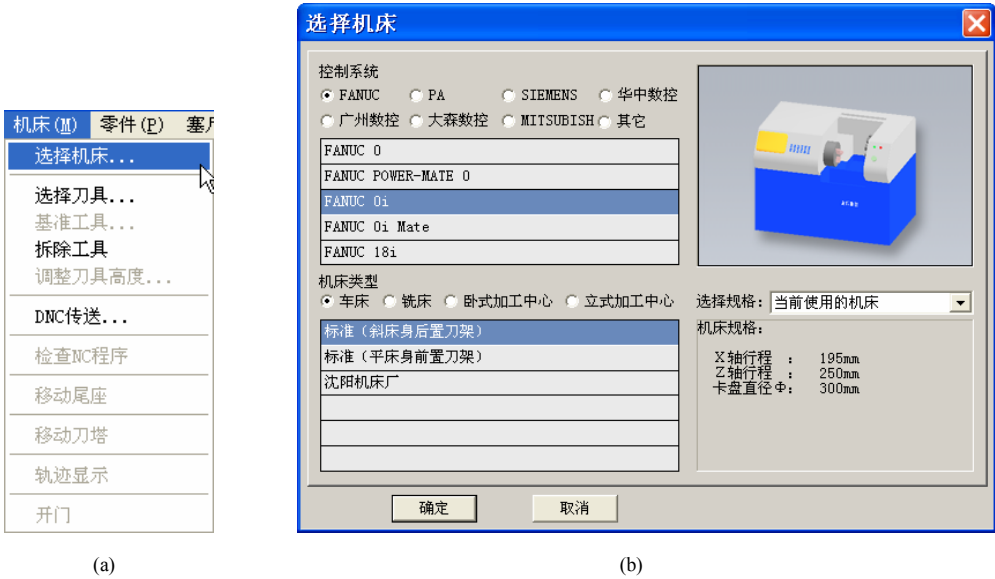


图 7.2

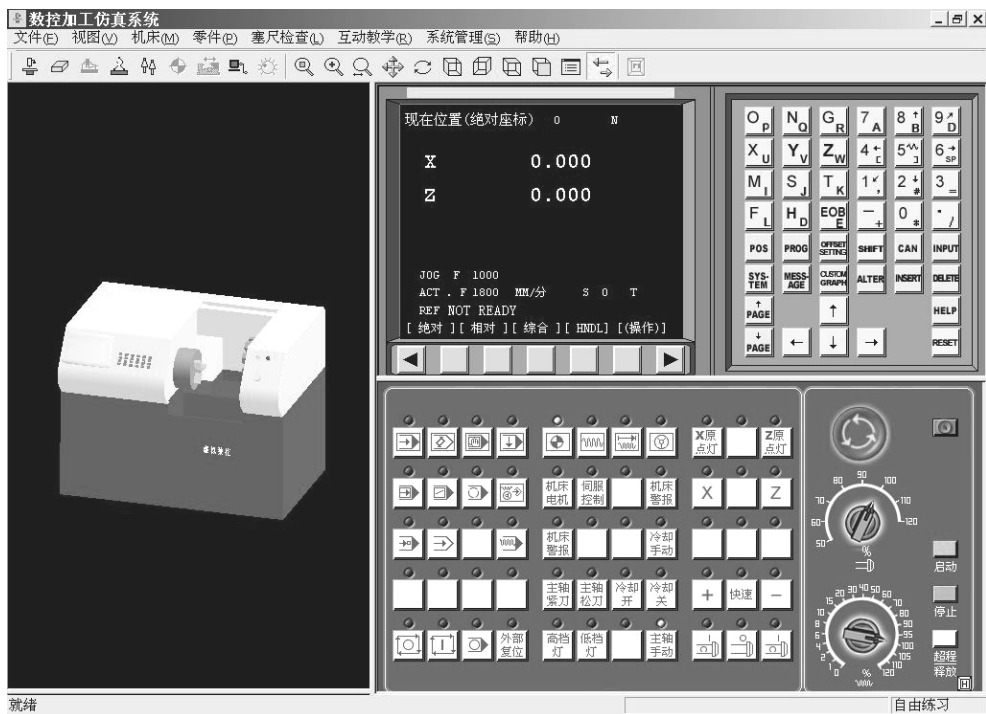


图 7.3

(2) 机床回零。单击“启动”按钮，使机床电机、伺服控制灯亮；检查“急停”按钮是否松开至 \odot 状态，若未松开，则单击“急停”按钮 \odot ，将其松开，CRT 上显示 REF *****；单击操作面板的“回零”按钮 \square ，使其指示灯亮；单击 \times 按钮，再单击 $+$ 按钮，此时 X 轴将回零，操作面板上 X 轴的回原点指示灯亮，同时 CRT 上的 X 坐标发生变化；如果单击“快速”按钮 快速 ，再单击 $+$ 按钮，则机床快速回零；同样操作可使机床 Z 轴回零。此时 CRT 和操作面板上的指示灯如图 7.4 所示。

(3) 安装零件。单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 7.5 所示的“定义毛坯”对话框中，改写零件的高和直径，单击“确定”按钮。

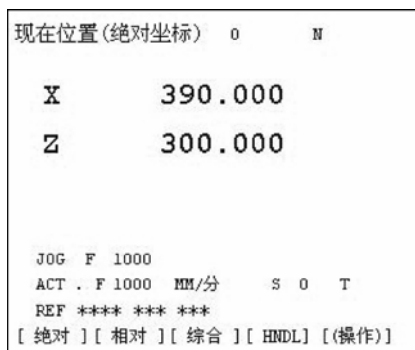


图 7.4

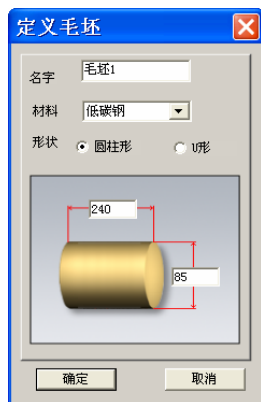


图 7.5 “定义毛坯”对话框

单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 7.6 所示的“选择零件”对话框中，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 7.7(a)所示，可以用其移动零件(使零件伸出约 230 mm)，移动零件完毕后，此时单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床状态如图 7.7(b)所示。



图 7.6 “选择零件”对话框



图 7.7

(4) 输入 NC 程序。数控程序可以使用记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，也可直接用 FANUC 系统的 MDI 键盘输入。此处采用已存有的 NC 程序文件“71.txt”。








单击操作面板上的“编辑”按钮，使其指示灯亮；单击 MDI 键盘的“程序”按钮，单击 CRT 屏幕上的软键，再单击“下一页”按钮，然后单击软键，将出现如图 7.8 所示的“打开”对话框，选取文件“71.txt”，单击“打开”按钮；单击软键，在 MDI 键盘上输入程序名称 O0710；单击软键，即可输入预先编辑好的数控程序，此时 CRT 界面如图 7.9 所示。



图 7.8 “打开”对话框

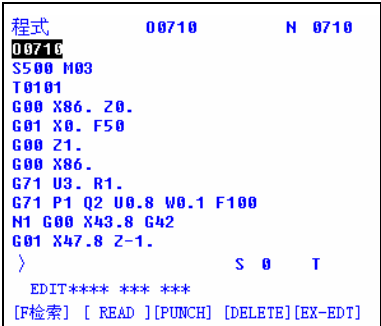





图 7.9

(5) 检查运行轨迹。单击操作面板中“自动运行”按钮，使其指示灯亮；单击 MDI 键盘中的“图形模式”按钮；单击操作面板中“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，其运行轨迹如图 7.10 所示。

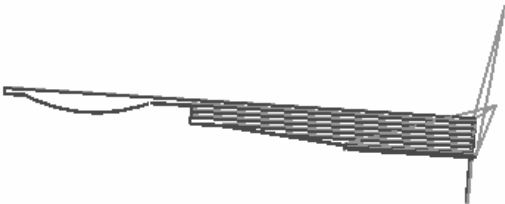


图 7.10 运行轨迹

(6) 装刀具、对刀。单击菜单“机床/选择刀具”，在“刀具选择”对话框中，根据加工方式选择所需的刀片和刀柄（见 7.1.1 零件加工工艺分析），单击“确定”按钮后退出，如图 7.11 所示。装好刀具后，机床状态如图 7.12 所示。

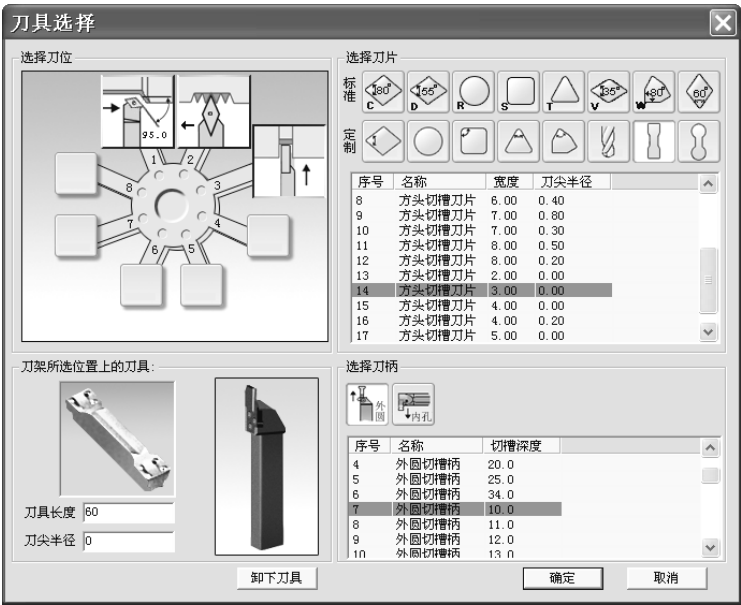













图 7.11 “刀具选择”对话框

下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① 01 号刀具对刀。

a. 单击操作面板上的 MDI 按钮，使其指示灯亮，在 MDI 键盘上输入 T0100 并单击  按钮；单击操作面板“循环启动”按钮，调用 1 号刀具；利用操作面板“手动”按钮、X、Z 轴的控制按钮、和机床移动按钮、，将机床移动到如图 7.13 所示的大致位置。

b. 单击操作面板“手动”按钮、“主轴正转”按钮，使其指示灯亮，启动主轴，利用操作面板“手动”按钮、X、Z 轴的控制按钮和机床“主轴移动”按钮，使刀具将外圆表面车去一层，如图 7.14 所示；按按钮使主轴停止转动，此时必须保持刀具位

置不移动。

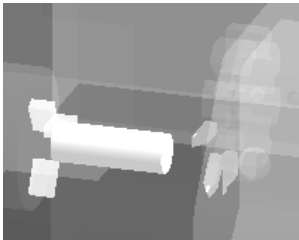






图 7.12



图 7.13



图 7.14

c. 单击“零件/测量...”菜单，得到所车外圆直径 75.291 mm，刀尖点所在 Z 坐标为 -49.2，如图 7.15 所示；在 MDI 键盘上单击  按钮两次，用方向按钮把光标移动到 01 刀具 X 位置，输入 X75.291；单击 CRT 屏幕上的软键 ，把光标移动到 Z 位置，输入 Z-49.2；单击 CRT 屏幕上的软键 ，把光标移动到 R 位置，输入刀具的圆弧半径补偿 0.4；把光标移动到 T 位置，输入刀尖方位值 3，如图 7.16 所示。单击操作面板上的  按钮，使刀具移到工件外。

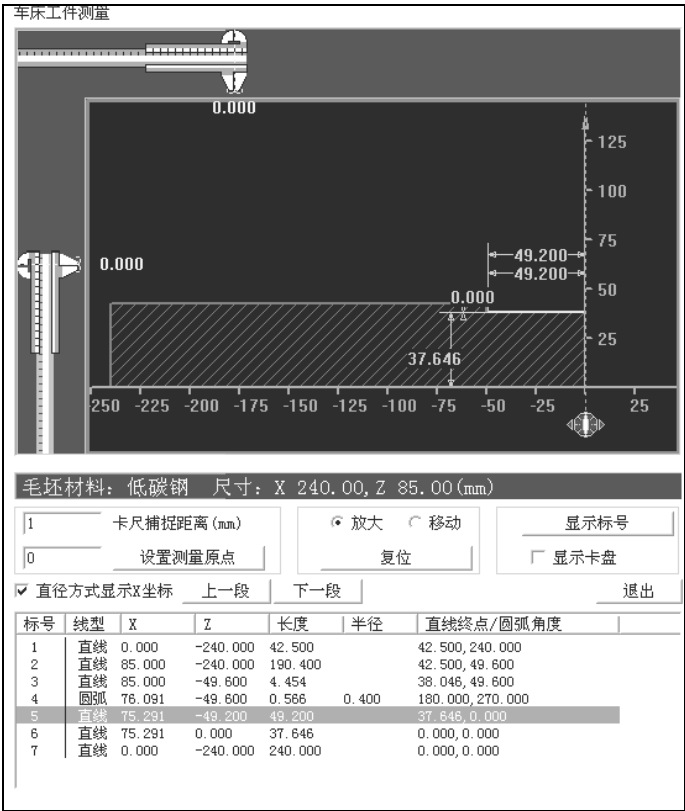


图 7.15




② 其余刀具对刀。用 MDI 方式调用其余刀具，用 01 号刀具对刀方法完成其余两把刀具的对刀。对刀完成后 CRT 屏幕如图 7.17 所示。

工具补正/形状				
番号	X	Z	R	T
01	168.342	280.450	0.400	3
02	0.000	0.000	0.000	0
03	0.000	0.000	0.000	0
04	0.000	0.000	0.000	0
05	0.000	0.000	0.000	0
06	0.000	0.000	0.000	0
07	0.000	0.000	0.000	0
08	0.000	0.000	0.000	0
现在位置(相对座标)				
U	-29.167	W	-22.917	
}				
REF **** ** *				
[磨损] [形状] [SETTING] [坐标系] [操作]				

图 7.16

工具补正				
番号	X	Z	R	T
01	168.342	280.450	0.400	3
02	170.000	287.500	0.000	0
03	170.000	280.000	0.000	0
04	0.000	0.000	0.000	0
05	0.000	0.000	0.000	0
06	0.000	0.000	0.000	0
07	0.000	0.000	0.000	0
08	0.000	0.000	0.000	0
现在位置(相对座标)				
U	390.000	W	250.000	
}				
JOG **** ** *				
[NO检索] [测量] [C. 输入] [+输入] [输入]				

图 7.17

(7) 自动加工。在 MDI 键盘上单击“程序”按钮；单击操作面板中“自动运行”按钮，再单击操作面板中“循环启动”按钮，机床就开始自动加工，加工后的工件如图 7.18 所示。

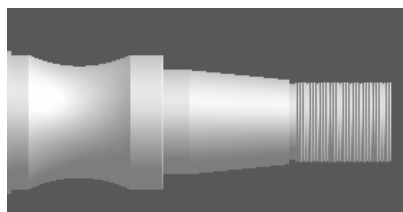


图 7.18

7.2 利用子程序编程与仿真加工

在数控加工仿真系统（华中数控）车床上加工一个如图 7.19 所示的模型，平面分析图如图 7.20 所示。



图 7.19

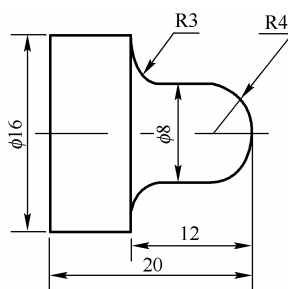


图 7.20 平面分析图

7.2.1 相关知识

1. 辅助功能指令(M代码)

辅助功能指令由地址字 M 和其后的一位或两位数字组成，主要用于控制零件程序的走向，以及机床各种辅助功能的开关动作。在 M 代码中，M00、M02、M03、M98 和 M99 用

于控制零件程序的走向，是数控系统内定的辅助功能，不由机床制造商所设计和决定，也就是说，与 PLC 程序无关。

2. 子程序调用指令(M98)及子程序返回指令(M99)

M98 用来调用子程序，M99 表示子程序结束，执行指令 M99 将使控制系统返回到主程序。

(1) 子程序的格式如下：

%×××××； 在子程序开头，必须规定子程序号，以作为调用入口地址。
.....

M99； 在子程序的结尾用 M99，以使控制系统执行完该子程序后返回到主程序。

(2) 调用子程序的格式如下：

M98 P_L_ P 为被调用的子程序号，L 为重复调用次数。

7.2.2 加工工艺分析

1. 技术要求

如图 7.20 所示，通过三次调用子程序进行循环加工，每次吃刀深度为 2 mm（半径值）。

2. 加工工艺的确定

(1) 装夹定位的确定：三爪卡盘夹紧定位，工件前端面距卡爪端面距离约 25 mm。

(2) 刀具加工起点及工艺路线的确定：刀具加工起点位置的确定原则是该处方便拆卸工件，不发生碰撞，空行程不长等，故将刀具加工起点置于 Z 向距工件前端面 30 mm，X 向距轴心线 30 mm 的位置。通过调用增量编辑的子程序，并使每次调用后的起点位置相对上一次起点位置向 X 轴负向移动 2 mm，从而实现三次循环加工，使轮廓向轴线平移，最后满足工件尺寸。

(3) 加工刀具的确定：外圆端面车刀（安装在 1 号刀位上）。

(4) 切削用量：主轴转速 600 r/min，进给速度 80 mm/min。

7.2.3 数学计算

(1) 假设程序原点，建立工件坐标系(以工件右端面与轴线的交点为程序原点)。

(2) 计算各节点相对位置坐标值。

7.2.4 编程与仿真操作

加工准备：该零件采用外圆加工方式，选取刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm 的 V 号刀片，H 型刀柄。选择直径 22 mm，高 35 mm 的圆柱形毛坯。采用 G54 定位坐标系。

加工步骤：选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；选择刀具、对刀；设置参数；自动加工。

数控程序如下：

O0001
N1 G54 X30 Z30
N2 M03 S400
N3 T0101
N4 G01 X23 Z0 F80
N5 M98 P0002 L3
N6 G90 G00 X30 Z30
N7 M30

O0002
N1 G01 T0101 G42 U-15 F300
N2 G03 U8 W-4 R4 F80
N3 G01 W-5
N4 G02 U6 W-3 R3
N5 G01 U2
N6 W-8
N7 G00 U2
N8 W20
N9 U-7
N10 G40
N11 M99

将此数控程序先在记事本中输入，文件名为 72.txt。
下面利用“数控加工仿真系统（华中数控）车床”来介绍具体操作过程。

1. 选择机床

如图 7.21(a)所示，单击菜单“机床/选择机床...”，在“选择机床”对话框中，控制系统选择华中数控世纪星 4 代，机床类型选择车床，单击“确定”按钮，此时界面如图 7.22 所示。

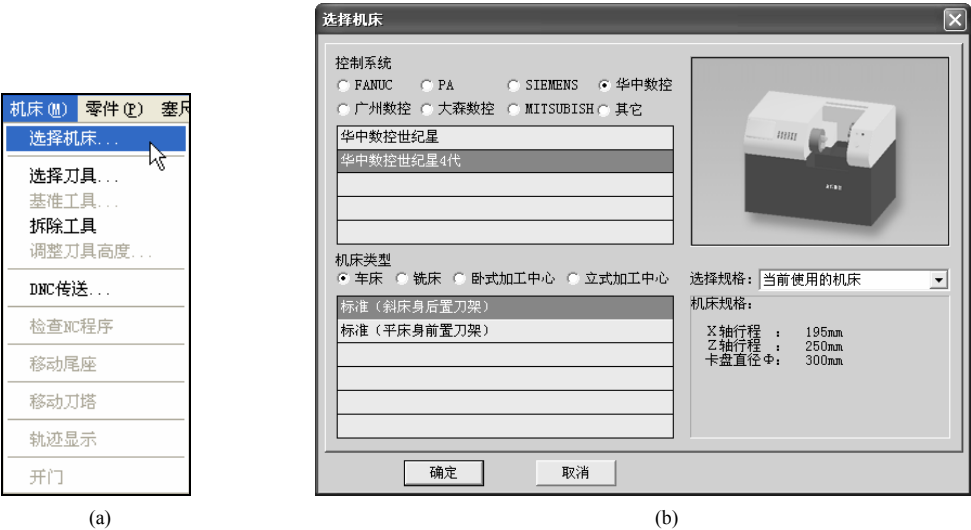


图 7.21

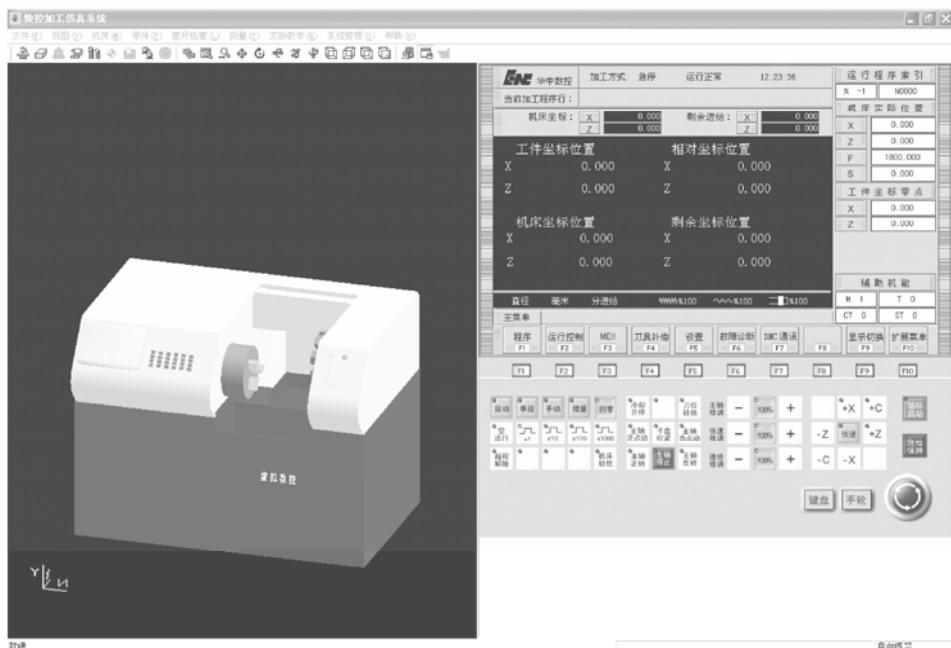






图 7.22

2. 机床回零

(1) 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，则单击“急停”按钮，将其松开。

(2) 检查操作面板上回零指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回零模式；若指示灯不亮，则单击按钮，使指示灯变亮，转入回零模式。

(3) 在回零模式下，单击控制面板上的按钮，此时 X 轴将回零，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再单击按钮，可以将 Z 轴回零。此时 CRT 界面如图 7.23 所示。

机床坐标:	0.000	剩余进给:	0.000
	0.000		0.000
工件坐标位置		相对坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Z	0.000	Z	0.000
机床坐标位置		剩余坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Z	0.000	Z	0.000
直径	毫米	分进给	100mm*100 100mm*100 100mm*100
主菜单			

图 7.23

3. 安装零件

(1) 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 7.24 所示的“定义毛坯”对话框中，改写

零件尺寸为直径 22 mm，高 35 mm，名字为默认值“毛坯 1”，单击“确定”按钮。

(2) 单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 7.25 所示的“选择零件”对话框中，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，并单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 7.26(a)所示，可以用其移动零件，移动零件完毕后，单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床如图 7.26(b)所示，零件已放置在机床工作台上。

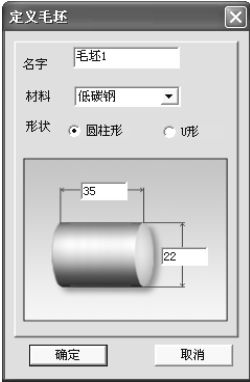
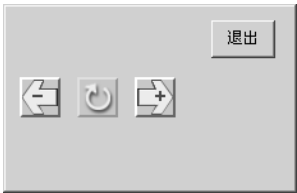


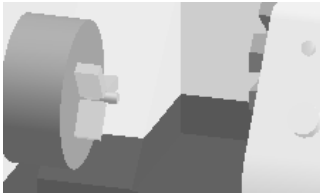
图 7.24 “定义毛坯”对话框



图 7.25 “选择零件”对话框



(a)



(b)

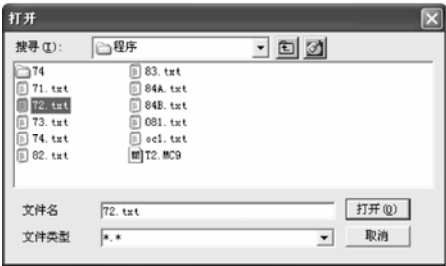
图 7.26

4. 导入数控程序

单击软键 **F7** “DNC 通信”，则弹出“串口通信”对话框，如图 7.27(a)所示，单击“导入程序”按钮，弹出“打开”对话框，如图 7.27(b)所示，选择用记事本编辑好的程序文件“72.txt”，单击“打开”按钮，然后单击“结束 DNC 连接”按钮退出，加工程序导入完成。







(a)



(b)

图 7.27

5. 检查运行轨迹

单击控制面板上的  按钮，切换到自动状态；完成数控程序导入后，单击软键  “程序校验”，按下此软键后转入程序校验状态；单击  按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，如图 7.28 所示。（如果没有反应，可先单击  软键，再进行此步骤即可）

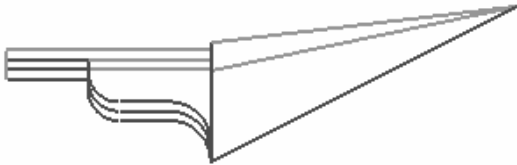


图 7.28 运行轨迹

6. 选择刀具、对刀

（1）选择刀具。单击菜单“机床/选择刀具”，在“刀具选择”对话框中，根据加工方式选择所需的刀片（V 号刀片）和刀柄（H 型刀柄），输入刀尖半径 0.4 mm，刀具长度 60 mm，单击“确定”按钮后退出，如图 7.29 所示。装好刀具后，机床如图 7.30 所示。

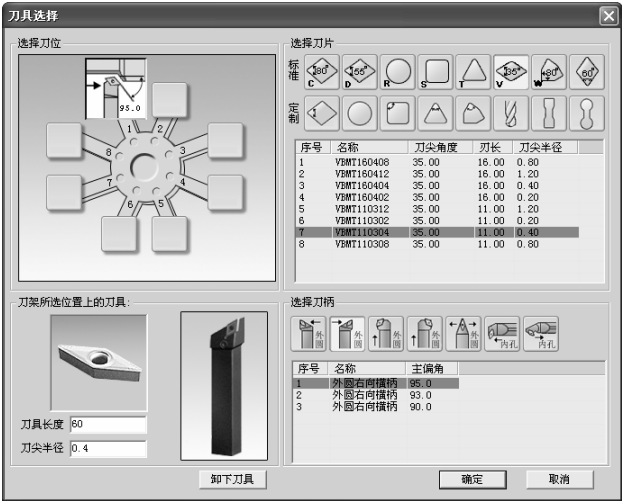


图 7.29



图 7.30









- （2）对刀。下面将说明如何通过对刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。
- ① 单击操作面板上的  按钮，切换到手动状态。
 - ② 单击 、 按钮，使刀具大致移动到可切削零件的位置。
 - ③ 单击操作面板上  或  按钮，使主轴转动。
 - ④ 单击  按钮，使所选刀具试切工件外圆，记下此时 X 的坐标-199.767,如图 7.31 所示；再单击  按钮将刀具退至如图 7.32 所示的位置，单击  按钮试切工件端面，记下此时 Z 的坐标-224.983，图 7.33 所示。



图 7.31



图 7.32



图 7.33

⑤ 单击菜单“工艺分析/测量”，在如图 7.34 所示的对话框中单击刀具试切外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色，记下下面对话框中对应的 X 值 21.891；X 的坐标值减去“测量”中读取的 X 值，即 $-199.767 - 21.891 = -221.658$ ，记为 X1；Z 的坐标值 -224.983 ，记为 Z1。

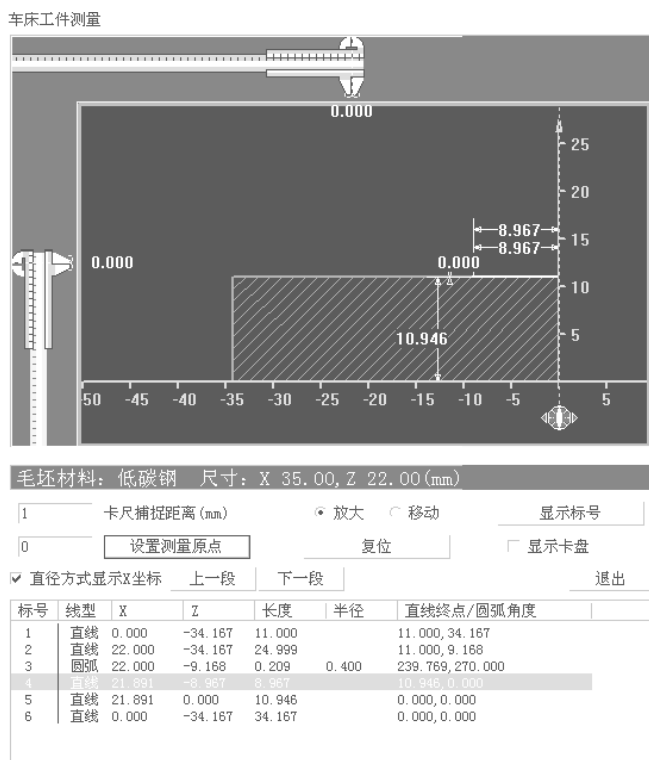





图 7.34

(X1,Z1) 即 $(-221.658, -224.983)$ 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

7. 设置参数

此处采用的是 G54 方法：将对刀得到的工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标数据 (X1,Z1)，确定为机床开始自动加工时的位置。刀具补偿参数默认为 0。

(1) 输入 G54 工件坐标原点。

- ① 单击软键 F5  设置，再单击软键 F1  坐标系，进入自动坐标系设置界面，如图 7.35 所示；
- ② 单击 MDI 键盘，输入 G54 的值：“X-221.658Z-224.983”，单击  按钮确认，完成

数据输入，此时 CRT 界面如图 7.36 所示。

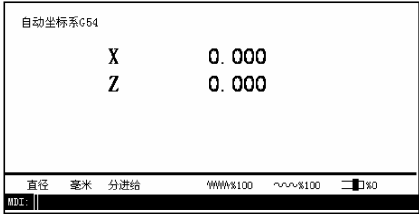


图 7.35

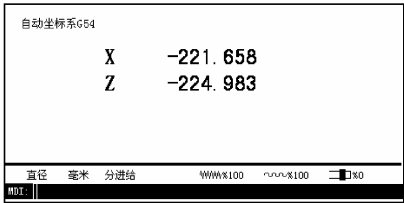


图 7.36

(2) 输入刀尖半径补偿参数。单击软键 F4_{刀具补偿}，再单击软键 F2_{刀补表}，进入刀尖半径补偿参数设定页面，如图 7.37 所示；用方位按钮_{▲▼◀▶}将光标移到半径栏中，单击_{Enter}按钮后，通过控制面板上的 MDI 键盘将选择车刀时设定的刀尖半径 0.4 输入到半径栏，将刀尖刀位补偿设为 3。

刀补表：		
刀补号	半径	刀尖方位
#0001	0.400	3
#0002	0.000	0
#0003	0.000	0
#0004	0.000	0
#0005	0.000	0
#0006	0.000	0
#0007	0.000	0
#0008	0.000	0
#0009	0.000	0
#0010	0.000	0
#0011	0.000	0
#0012	0.000	0
#0013	0.000	0
直径 毫米 分进给 WWW%100 ~~~~%100 二口%0		
MDI:		

图 7.37 刀补表

8. 自动加工

先将机床回零，在控制面板上单击_{自动}按钮，进入自动加工状态，单击_{循环启动}按钮即开始自动加工。加工结果见图 7.19。

7.3 公、英制螺纹的编程与仿真加工

在数控加工仿真系统（FANUC 0i）车床上加工一个如图 7.38 所示的零件，平面分析图如图 7.39 所示。

7.3.1 相关知识

由于螺纹加工属于成型加工，且为了保证螺纹的导程，加工时主轴旋转一周，车刀的进给量必须等于螺纹的导程（称转进给），进给量较大；另外，螺纹车刀的强度一般较差，故螺纹牙型往往不是一次加工而成的，需分多次进行切削，如欲提高螺纹的表面质量，可增加几次光整加工。

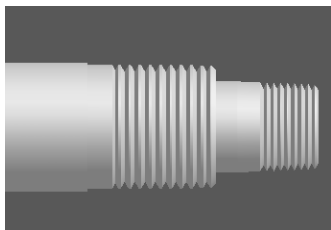


图 7.38 零件图

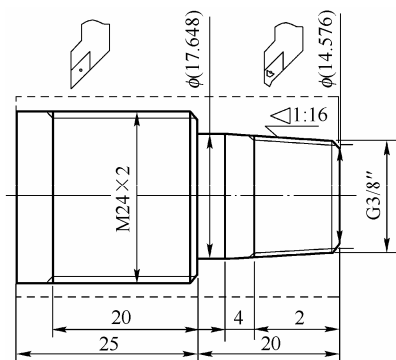


图 7.39 平面分析图

螺纹加工指令有 G92 螺纹切削循环和 G76 复合形螺纹切削循环。

1. 螺纹切削循环指令(G92)

G92 为直螺纹切削循环指令。

格式: G92 X(U)___Z(W)___F___

G92 X(U)___Z(W)___R___F___

式中, X、Z——螺纹终点在绝对值编程时, 在工件坐标系中的坐标;

U、W——增量值编程时, 螺纹终点相对于循环起点的同向距离, 其符号由轨迹 1 和 2 的方向确定。

2. 螺纹切削复合循环指令(G76)

G76 为直螺纹切削复合循环指令

格式: G76 P(m)(r)(a) Q (Δ dmin) R(d)

G76 X(u)___Z(W)___R(i) P(k) Q(Δ d) F(l)

式中, m——最终精加工重复次数为 1~99;

r——螺纹的精加工量 (倒角量);

a——刀尖的角度 (螺牙的角度), 可选择 80、60、55、30、29、0 六个种类;

m, r, a——同用地址 P 一次指定;

Δ dmin——最小切深度;

i——螺纹部分的半径差;

k——螺牙的高度;

Δ d——第一次的切深量;

l——螺纹导程。

7.3.2 加工工艺分析

1. 技术要求。

毛坯为图中双点画线部分, 选择直径 26 mm, 高 100 mm 的圆柱形毛坯。

图中括弧内尺寸为 G3/8"螺纹的标准尺寸, 其中 $\phi 14.576$ mm 为锥管螺纹小端直径;

G3/8"螺纹的螺距为 1.337 mm，牙深为 0.856 mm。

2. 加工工艺的确定。

(1) 装夹定位的确定。三爪卡盘夹紧定位，工件前端面距卡爪端面距离 50 mm。


(2) 加工起点、换刀点及工艺路线的确定。由于工件较小，为使加工路径清晰，加工起点与换刀点可以设为同一点。其位置的确定原则为：方便拆卸工件，不发生碰撞，空行程不长等。故加工起点与换刀点放在 Z 向距工件前端面 30 mm、X 向距轴心线 50 mm 的位置。

首先用外圆车刀加工工件外形轮廓，其中螺纹外径公差、偏差为 7 h；再用公制螺纹车刀加工 M24×2 螺纹牙型，通过调用 G76 螺纹复合循环指令进行切削加工，另加两次光整加工；最后用英制螺纹车刀分四次加工 G3/8"螺纹牙型，吃刀量分别为 0.8 mm、0.6 mm、0.5 mm、0.17 mm，最后增加两次光整加工。

(3) 加工刀具的确定。

1 号刀：外圆端面车刀，选取刀尖半径 0 mm，刀具长度 60 mm 的 C 号刀片，L 型刀柄；

2 号刀：公制螺纹车刀，选取刀尖角为 60°，刀尖半径 0 mm，刀具长度 62 mm；

3 号刀：英制螺纹车刀，选取刀尖半径 0 mm，刀具长度 66 mm 的 D 号刀片，刀柄为 。

上述刀具的材质均为硬质合金刀。

(4) 切削用量。加工外圆时，主轴转速为 800 r/min，粗加工进给速度为 80 mm/min，精加工进给速度为 60 mm/min；加工螺纹时，主轴转速为 300 r/min。

7.3.3 数学计算

(1) 假设程序原点，建立工件坐标系（以工件右端面与轴线的交点为程序原点）。

(2) 计算各节点位置坐标值。

7.3.4 编程与仿真操作

参考程序如下：

```
%0008
G54
G00X100. Z30.
T0101
M03 S800
G00 X30. Z4.
G71 U1. R1.
G71 P1 Q2 U0.8 W0.1 F80
N1 G01 X16.4 Z4. F80
X17.648 Z-16.
Z-20.
X21.95
```


U2. W-1.
W-24.
N2 U3.
G70 P1 Q2 F60
G90X20.576 Z-3. R-7. F80
G00 X100.Z30.
T0202
S300
G00 X30. Z-15.
G76 P020260 R0.05
G76 X21.35 Z-40. P1300 Q400 F2.
G00 X100. Z30.
T0303
G00 X24. Z4.
G92 X15.87 Z-12. R-0.5 F1.337
G92 X15.37 Z-12. R-0.5 F1.337
G92 X15.07 Z-12. R-0.5 F1.337
G92 X14.95 Z-12. R-0.5 F1.337
G92 K14.95 Z-12. R-0.5 F1.337
G92 X14.95 Z-12. R-0.5 F1.337
G00 X100. Z30.
M30

将此数控程序先在记事本中输入，文件名为 73.txt。
下面利用“数控加工仿真系统（FANUC 0i）车床”来介绍具体操作过程。

1. 选择机床

如图 7.40(a)所示，单击菜单“机床/选择机床...”，在“选择机床”对话框中，控制系统选择 FANUC，机床类型选择车床，单击“确定”按钮，此时界面如图 7.41(b)所示。

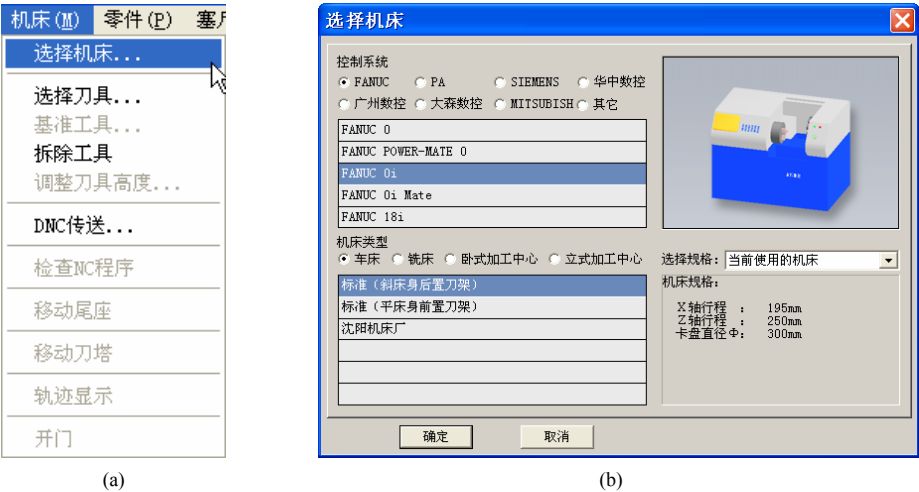


图 7.40

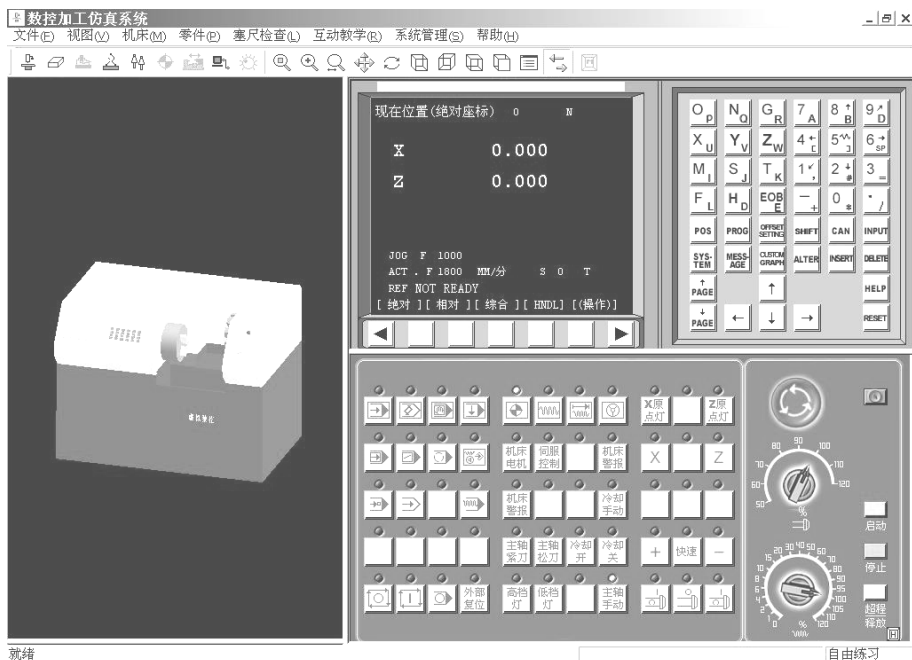


图 7.41

2. 机床回零








单击“启动”按钮，使机床电机、伺服控制灯亮；检查“急停”按钮是否松开为状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开，CRT 上显示 **REF **** * * ***；单击操作面板的“回零”按钮，使其指示灯亮；单击按钮，再单击按钮，此时 X 轴将回零，操作面板上 X 轴的回原点指示灯亮，同时 CRT 上的 X 坐标发生变化；如果单击“快速”按钮再单击按钮，则机床快速回零；同样操作可使机床 Z 轴回零。此时 CRT 和操作面板上的指示灯如图 7.42 所示。



图 7.42

3. 安装零件

(1) 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在“定义毛坯”对话框中，如图 7.43 所示，改写零件尺寸的高度和直径，单击“确定”按钮。

(2) 单击菜单“零件/放置零件...”，在“选择零件”对话框中，如图 7.44 所示，选取名称为“毛坯 1”的零件，并单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图

7.45(a)所示，可以用其移动零件(使零件伸出约 70 mm)，关闭该面板，此时机床如图 7.45(b)所示。

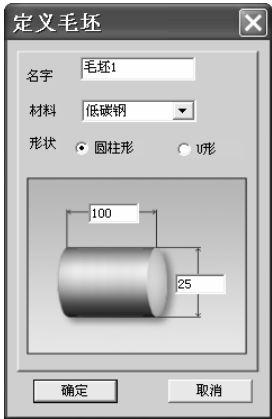


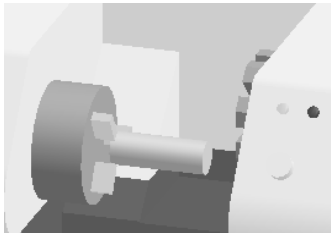
图 7.43



图 7.44



(a)







(b)

图 7.45

4. 输入NC程序

数控程序可以通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，也可直接使用 FANUC 系统的 MDI 键盘输入。此处采用已存有的 NC 程序文件“73.txt”。

(1) 单击操作面板的“编辑”按钮，使其指示灯亮。

(2) 单击 MDI 键盘的“程序”按钮，单击 CRT 屏幕上的软键，再单击“下一页”按钮，然后单击软键，将出现如图 7.46 所示的“打开”对话框。

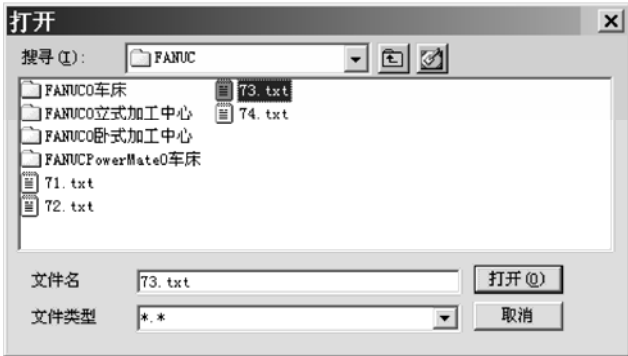


图 7.46 “打开”对话框

```

程序          07300      N 7300
07300
%0008
G00 X100. Z30.
T0101
M03 S800
G00 X30. Z4.
G71 U1. R1.
G71 P1 Q2 U0.8 W0.1 F80
N1 G01 X16.4 Z4. F80
X17.648 Z-16.
Z-20.
}
S 0      T
EDIT**** *** ***
[ 结合 ][      ][ 停止 ][ CAN ][ EXEC ]

```

图 7.47

程序的运行轨迹，如图 7.48 所示。



图 7.48 运行轨迹

6. 装刀具对刀

单击菜单“机床/选择刀具”，在“刀具选择”对话框中根据加工方式选择所需的刀片和刀柄（见 7.3.2 节加工工艺确定），单击“确定”按钮后退出，如图 7.49 所示。装好刀具后，机床如图 7.50 所示。

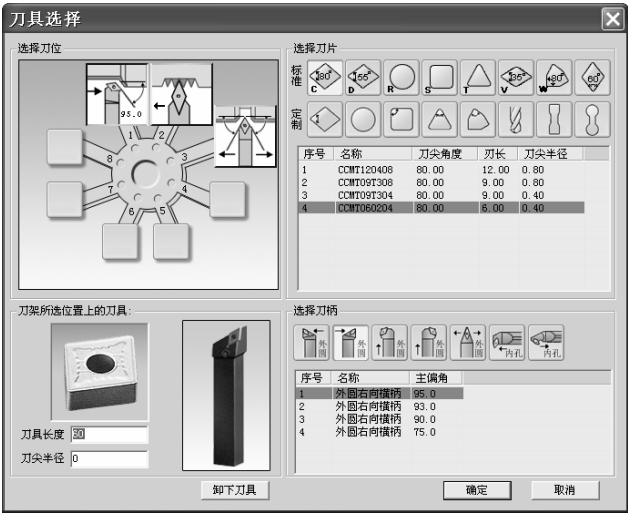










图 7.49 “刀具选择”对话框



图 7.50

下面将说明如何通过对刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

(1) 01 号刀具对刀。

① 单击操作面板 MDI 按钮，使其指示灯亮，在 MDI 键盘上输入 T0100，并单击按钮；单击操作面板“循环启动”按钮，调用 1 号刀具；利用操作面板“手动”按钮，X、Z 轴的控制按钮、和机床移动按钮、，将机床移动到如图 7.51 所示的大致位置。

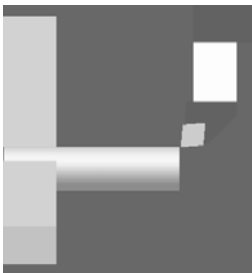






图 7.51

② 单击操作面板主轴“手动”按钮、“主轴正转”按钮，使其指示灯亮，启动主轴；利用操作面板“手动”按钮，X、Z 轴的控制按钮和机床移动按钮，使刀具将外圆表面车去一层，如图 7.52 所示。记下此时 CRT 中的 X 坐标 194.174。单击按钮使刀具沿+Z 方向离开工件，单击按钮停止主轴转动。

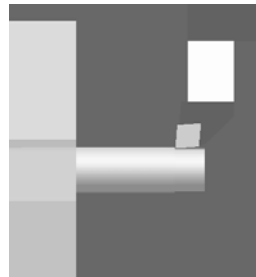










图 7.52

③ 单击“零件/测量...”菜单得到所车外圆直径 24.174，故工件坐标系原点的 X 坐标为 $194.174 - 24.174$ （零件直径） $= 170.0$ 。将当前刀尖所在位置的 X 轴相对坐标置零；单击 MDI 键盘的按钮，单击 CRT 屏幕上的软键，单击软键；在 MDI 键盘上输入、U、0；单击 CRT 屏幕上的软键，此时将当前位置的 X 轴相对坐标置为零。

采用同样的方法将端面车去一层，记下此时 CRT 中的 Z 坐标 146.677，即工件坐标系原点的 Z 坐标，同时将当前刀尖所在位置的 Z 轴相对坐标置零（同 X 轴坐标置零方法）。


通过试切对刀方法得到了工件原点在机床坐标系中的坐标数据（170.0，146.677）。

(2) 02 号刀具对刀。

① 用 MDI 方式调用 2 号刀具。单击操作面板 MDI 按钮，使其指示灯亮，在 MDI 键盘上输入 T0200 并单击按钮，单击操作面板“循环启动”按钮，此时刀架转动调用 2 号刀具。

② 采用手动方式使刀尖靠近工件试切后外圆与右端面的交点处，单击打开“视图/选项...”菜单，选中“铁屑开”选项（使操作者第一时间能看清刀具和零件碰撞一刹那，确保对刀的准确性）。

③ 启动主轴。单击操作面板“手动”按钮，通过调节操作面板上的“倍率”旋钮或通过手轮进行微调；在刀尖和零件刚开始碰撞的一刹那，记下此时显示的相对坐标 U、W。

④ 单击按钮两次，显示如图 7.53 所示，通过 MDI 键盘，把图示中的 U、W 值作为

02 号刀具的 X、Z 轴补偿参数输入，如图 7.54 所示。

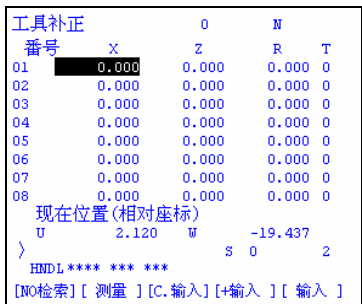


图 7.53

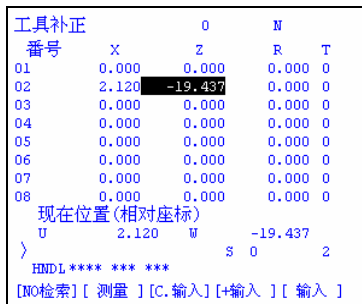




图 7.54

(3) 03 号刀具对刀，其方法同 02 号刀具对刀方法。

7. 设置参数

此处采用的是 G54 方法：将 1 号刀对刀得到的工件在机床上的坐标数据，结合工件本身的尺寸，计算出工件原点在机床中的位置，并确定机床开始自动加工时的位置。

连续单击  按钮四次，输入 01，CRT 显示如图 7.55 所示，单击软键 ，光标移到 01 处，输入 G54 的值：工件坐标系原点坐标 (170.0, 146.677)，完成数据输入，如图 7.56 所示。

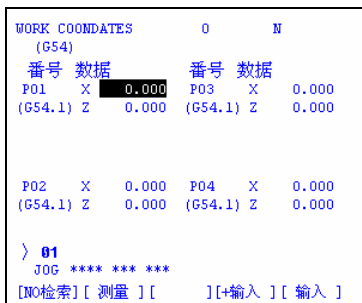


图 7.55

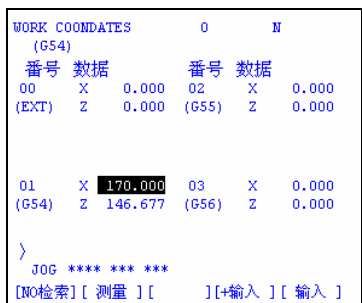





图 7.56

8. 自动加工

机床位置确定和工件中心坐标输入后，就可以开始自动加工了。在 MDI 键盘上单击“程序”按钮 ，单击操作面板中“自动运行”按钮 ，再单击操作面板中“循环启动”按钮 ，机床就开始自动加工。

7.4 复杂零件的编程及仿真加工

在数控加工仿真系统（FANUC Oi）车床上加工一个如图 7.57 所示的模型，平面分析图如图 7.58 所示。

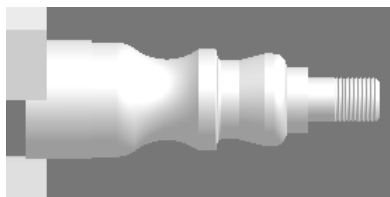


图 7.57 零件图

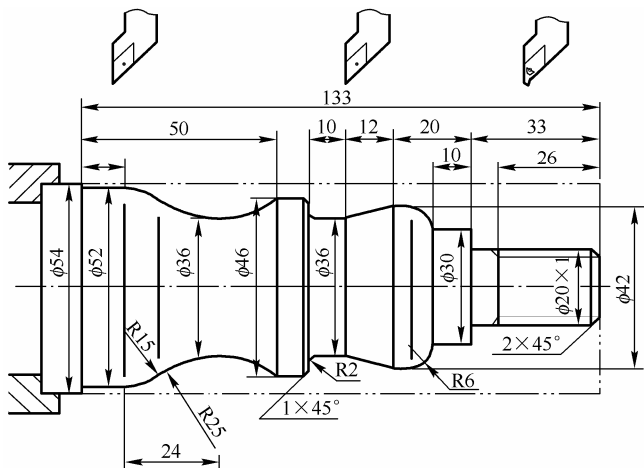


图 7.58 平面分析图

7.4.1 相关知识

1. 封闭切削循环G73

G73 可以按同一轨迹重复切削，每次切削刀具向前移动一次，因此，在复杂零件的数控车削加工中，常使用复合循环指令。这里简述外圆加工复合循环指令 G73 的用法。

G73 U(Δi) W(Δk) R (d)

G73P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

N(ns).....

.....

.....

N(nf).....

式中， Δi ——X 方向退刀量 可理解为半径方向或单边的退刀量；

Δk ——Z 方向退刀量 可理解为 Z 方向退刀量；

D——分层加工次数；

Ns——精加工零件刀具轨迹的第一个程序段序号；

Nf——精加工零件刀具轨迹的最后一个程序段序号；

Δu ——X 方向精加工余留量（所用机床是指半径方向或理解为单边精加工余留量）；

Δw ——Z 方向精加工余留量；

F、s、t ——在循环 ns 至 nf 之间程序中的 FST 被忽略，G73 程序段中的 FST 有效。

2. 精车循环G70

G70 用于 G71、G72、G73 粗车后，刀尖沿着工件轮廓加工到尺寸精度。

程序书写格式:G70 P(ns) Q(nf)

式中，ns——精加工零件刀具轨迹的第一个程序段序号；

nf——精加工零件刀具轨迹的最后一个程序段序号。

注：（1）G71、G72、G73 循环车削中的 F、S、T 无效，G70 程序段中的 F、S、T 有效；

(2) G70 的循环一结束, 刀具就用快速进给返回始点, 并开始读入 G70 循环的下一个程序段;

(3) G70~G73 间被使用的顺序号 ns~nf 间的程序段中, 不能调用子程序。

7.4.2 加工工艺分析

1. 装夹定位的确定

三爪卡盘夹紧加顶尖定位, 工件前端面距卡爪端面距离约 150 mm。

2. 加工起点、换刀点及工艺路线的确定

由于工件较小, 为了使加工路径清晰, 加工起点与换刀点可以设为同一点。其位置的确定原则为: 方便拆卸工件, 不发生碰撞, 空行程不长等, 要特别注意尾座对 Z 轴位置的限制。故加工起点与换刀点均放在 Z 向距工件前端面 80 mm, X 向距轴心线 100 mm 的位置。

首先通过 G73 封闭循环指令, 用外圆粗加工车刀加工工件外形轮廓, 并保留 0.8 mm 精加工余量; 再用外圆精加工车刀采用 G70 精车循环将外形轮廓加工到尺寸; 最后用公制螺纹车刀, 分三次加工 M20×1 螺纹的牙型, 吃刀量分别为 0.7 mm、0.4 mm、0.2 mm, 另增加两次光整加工。

3. 加工刀具的确定

1 号刀: 端面车刀, 选取刀尖半径 0 mm, 刀具长度 60 mm 的 C 号刀片, L 型刀柄;

2 号刀: 外圆粗车刀, 选取刀尖半径 0 mm, 刀具长度 66 mm 的 V 号刀片, J 型刀柄;

3 号刀: 外圆精车刀, 选取刀尖半径 0 mm, 刀具长度 66 mm 的 V 号刀片, J 型刀柄;

4 号刀: 螺纹车刀, 选取刀尖角 60°, 刀具长度为 66 mm。

4. 切削用量

外圆加工时: 主轴转速 600 r/min, 粗加工进给速度 80 mm/min, 精加工进给速度 60 mm/min; 螺纹加工时: 主轴转速 300 r/min。

7.4.3 数学计算

假设程序原点, 建立工件坐标系 (以工件右端面与轴线的交点为程序原点)。计算各节点相对位置坐标值。

7.4.4 编程与仿真操作

加工准备: 选择直径 54 mm, 高 165 mm 的圆柱形毛坯。采用 G54 定位坐标系。

加工步骤: 选择机床; 机床回零; 安装零件; 导入数控程序; 检查运行轨迹; 选择刀具、对刀; 设置参数; 自动加工。

数控程序如下:

```
%7400  
N1 G54 G00 X100. Z80.
```


N2 M03 S500
N3 T0101
N4 G00 X60. Z5.
N5 G94 X0. Z1.5 F80
N6 G94 X0. Z0.
N7 G00 X100. Z80.
N8 T0202
N9 G42 G00 X55. Z3.
N10 G90 X52.6 Z-133. F80
N11 G01 X54.F80
N12 G73 U13. W0. R8
N13 G73 P14 Q30 U0.8 W0 F80
N14 G01 X10. F80
N15 X19.9 Z-2.
N16 Z-33.
N17 G01 X30.
N18 Z-43.
N19 G03 X42. Z-49. R6.
N20 G01 Z-53.
N21 X36. Z-65.
N22 Z-73.
N23 G02 X40. Z-75. R2.
N24 G01 X44.
N25 X46. Z-76.
N26 Z-84.
N27 G02 Z-113. R25.
N28 G03 X52. Z-122. R15.
N29 G01 Z-133.
N30 G01 X54.
N31 G00 G40 X100. Z80.
N32 T0303 G42
N33 G70 P14 Q30 F60
N34 G40 G00 X100. Z80.
N35 M05
N36 T0404
N37 M03 S200
N38 G00 X30. Z5.
N39 G92 X19.3 Z-20. F1.
N40 G92 X18.9 Z-20. F1.
N41 G92 X18.7 Z-20. F1.
N42 G92 X18.7 Z-20. F1.
N43 G92 X18.7 Z-20. F1.
N44 G00 X100. Z80.
N45 M30

将此数控程序先在记事本中输入，文件名为 74.txt。

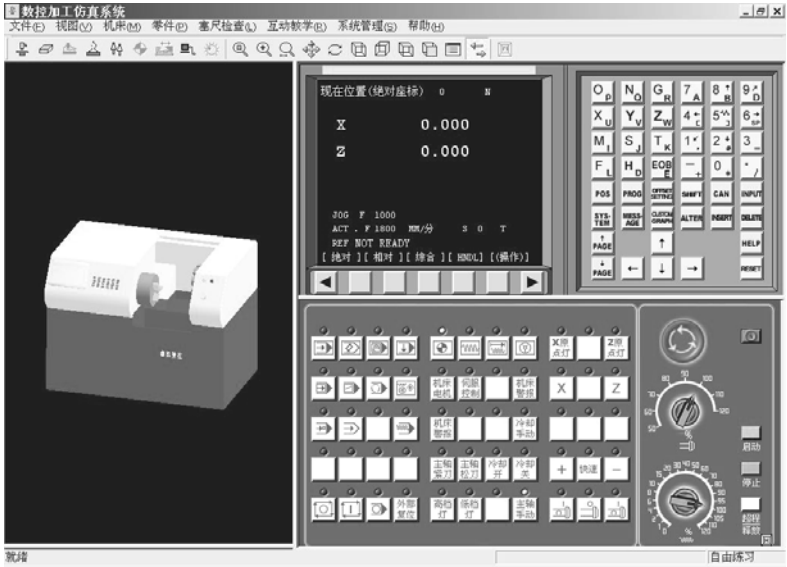
下面利用“数控加工仿真系统（FANUC 0i）车床”来介绍具体操作过程。

1. 选择机床



如图 7.59(a)所示，单击菜单“机床/选择机床...”，在“选择机床”对话框中，控制系统选择 FANUC 0i，机床类型选择车床，单击“确定”按钮，此时界面如图 7.60(b)所示。








图 7.59



2. 机床回零

单击“启动”按钮，使机床电机、伺服控制灯亮；检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开，CRT 上显示 REF **** *；单击操

作面板的“回零”按钮，使其指示灯亮；单击按钮，再单击按钮，此时 X 轴将回零，操作面板上 X 轴的回原点指示灯亮，同时 CRT 上的 X 坐标发生变化，如果单击“快速”按钮再单击按钮，则机床快速回零；同样操作可使机床 Z 轴回零。此时 CRT 和操作面板上的指示灯如图 7.61 所示。

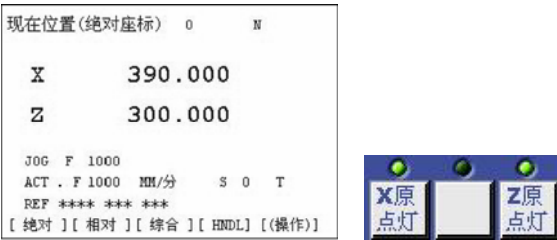


图 7.61

3. 安装零件

(1) 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在“定义毛坯”对话框中，如图 7.62 所示，改写零件尺寸的高度和直径，单击“确定”按钮。

(2) 单击菜单“零件/放置零件...”，在“选择零件”对话框中，如图 7.63 所示，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 7.64(a)所示，可以用其移动零件，移动完毕，关闭该面板，此时机床如图 7.64(b)所示，零件已放置在机床工作台面上。

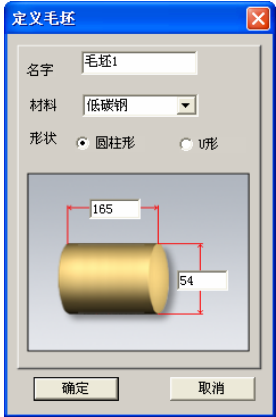


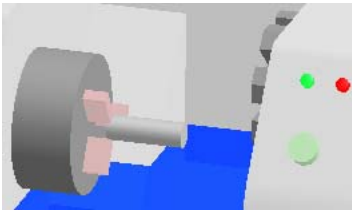
图 7.62



图 7.63



(a)








(b)

图 7.64

4. 输入NC程序

数控程序可以通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件，也可直接用 FANUC 系统的 MDI 键盘输入。此处采用已存有的 NC 程序文件“74.txt”。

(1) 单击操作面板上的“编辑”按钮，使其指示灯亮，单击 MDI 键盘的“程序”按钮，单击 CRT 屏幕上的软键，再单击“下一页”按钮，单击软键，将出现如图 7.65 所示的“打开”对话框。



(2) 在“打开”对话框中选取文件“74.txt”，单击打开按钮；单击软键，在 MDI 键盘上输入程序名称 O7400；单击软键，即可输入预先编辑好的数控程序，此时 CRT 界面如图 7.66 所示。



图 7.65 “打开”对话框

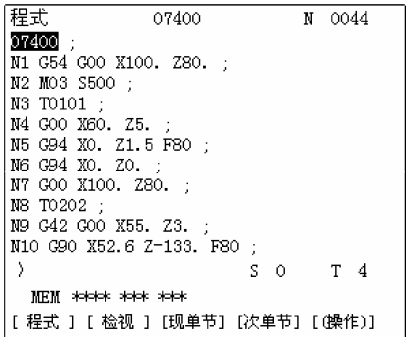





图 7.66

5. 检查运行轨迹

单击操作面板上“自动运行”按钮，使其指示灯亮；单击 MDI 键盘中的“图形模式”按钮，单击操作面板中“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，如图 7.67 所示。图中红线代表刀具快速移动的轨迹，绿线代表刀具切削的轨迹。

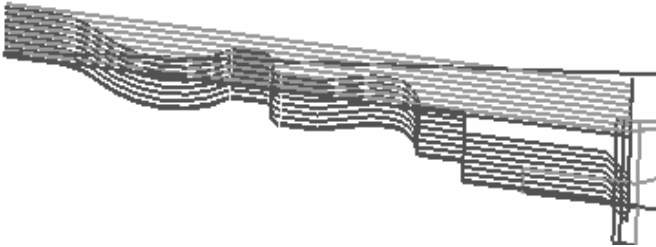


图 7.67 运行轨迹

6. 装刀具对刀

单击菜单“机床/选择刀具”，在“刀具选择”对话框中，根据加工方式选择所需的刀片和刀柄（见 7.4.2 加工工艺分析），单击“确定”按钮后退出，如图 7.68 所示。装好刀具后，机床如图 7.69 所示。

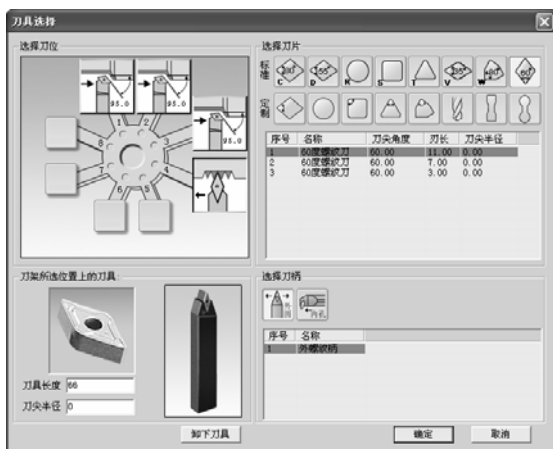










图 7.68 “刀具选择”对话框



图 7.69

下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

(1) 01 号刀具对刀。

① 单击操作面板 MDI 按钮，使其指示灯亮，在 MDI 键盘上输入 T0100 并单击按钮；单击操作面板“循环启动”按钮，调用 1 号刀具（如果调用刀具不成功，请先回零）利用操作面板“手动”按钮，X、Z 轴的控制按钮、和机床移动按钮、，将机床移动到如图 7.70 所示的大致位置。







② 单击操作面板“主轴手动”按钮、“主轴正转”按钮，使其指示灯亮，启动主轴；利用操作面板“手动”按钮，X、Z 轴的控制按钮和机床移动按钮，使刀具将外圆表面车去一层，如图 7.71 所示，记下此时 CRT 中的 X 坐标 221.333；单击按钮使刀具离开工件，单击按钮使主轴停止转动。








图 7.70



图 7.71

③ 单击“零件/测量...”菜单，得到所车外圆直径 51.333 mm，故工件坐标系原点的 X 坐标为 $221.333 - 51.333$ （零件直径） $= 170.0$ 。使用同样的方法将端面车去一层，记下此时 CRT 中的 Z 坐标 205.299，即工件坐标系原点的 Z 坐标。通过试切对刀方法得到了工件原点在机床坐标系中的坐标数据（170.0，205.299）。

④ 单击按钮使刀具移动到 CRT 中的 X 坐标 221.333 处，如图 7.72(a)所示。可以通过“手动脉冲”按钮精确调节机床主轴位置。单击操作面板“手动脉冲”按钮或，单

击显示手轮，通过“倍率”旋钮和 X、Z 轴选择旋钮进行微调，在操作面板上单击按钮使主轴停止转动。

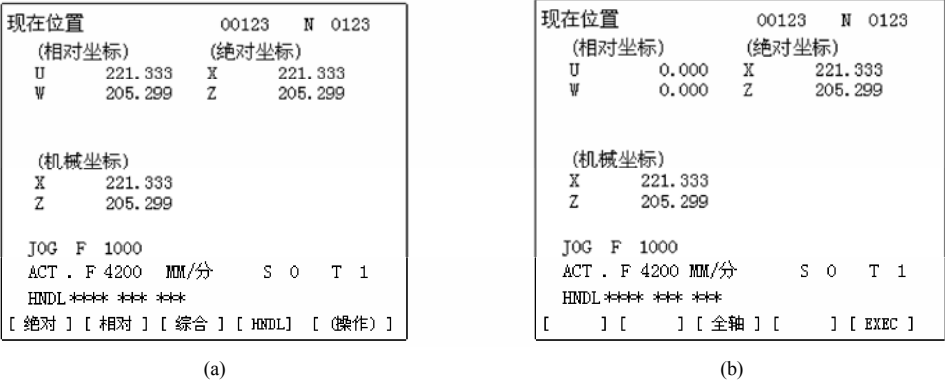





图 7.72

⑤ 将当前刀尖所在位置的 X、Z 轴相对坐标置零：单击 CRT 屏幕上的软键[综合]，单击软键[(操作)]，单击软键[起源]，单击软键[全轴]，这时 X、Z 轴相对坐标同时置零。置零后 CRT 屏幕如图 7.72(b)所示。

(2) 用 MDI 方式调用 2 号刀具。

① 单击操作面板 MDI 按钮，使其指示灯亮；在 MDI 键盘上输入 T0200 并单击按钮；单击操作面板“循环启动”按钮，此时刀架转动调用 2 号刀具。

② 采用手动方式使刀尖靠近工件试切外圆与右端面的交点处，单击打开“视图/选项...”菜单，选中“铁屑开”选项；启动主轴，单击操作面板“手动”按钮，通过调节操作面板上的“倍率”旋钮或通过手轮进行微调。

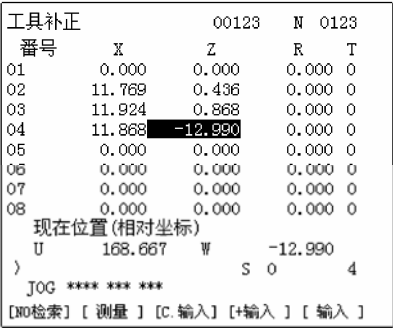




图 7.73

③ 在刀尖和零件刚开始碰撞的一刹那，记下此时的显示相对坐标 U；使用同样的方法得到相对坐标 W。将得到的相对坐标数值（U，W）输入到 OFFSET/SETTING（可单击按钮两次）的 02 中。

(3) 调用 3、4 号刀具。按步骤（2）完成 3、4 号刀具的偏置设置。3 号刀具偏置输入 03 中，4 号刀具偏置输入 04 中，设置完成后的界面如图 7.73 所示。

7. 设置参数

此处采用的是 G54 方法：将 1 号刀对刀得到的工件在机床上的坐标数据，结合工件本身的尺寸，计算出工件原点在机床中的位置，并确定机床开始自动加工时的位置。

连续单击按钮四次，输入 01，CRT 显示如图 7.74 所示；单击软键[NO检索]，光标移到 01 处，输入 G54 的值：工件坐标系原点坐标（170.0，146.677），完成数据输入，如图 7.75 所示。




WORK COORDINATES				O	N	
(G54)						
番号		数据		番号 数据		
P01	X		0.000	P03	X	0.000
(G54.1)	Z		0.000	(G54.1)	Z	0.000
P02	X		0.000	P04	X	0.000
(G54.1)	Z		0.000	(G54.1)	Z	0.000
> 01						
JOG **** * * *						
[NO检索][测量][][+输入][输入]						

图 7.74

WORK COORDINATES				00123	N	0123
(G54)						
番号	数据	番号	数据			
00	X		0.000	02	X	0.000
(EXT)	Z		0.000	(G55)	Z	0.000
01	X		170.000	03	X	0.000
(G54)	Z		205.299	(G56)	Z	0.000
>						
JOG **** * * *						
[NO检索] [测量] [] [+输入] [输入]						

图 7.75

8. 自动加工

机床位置确定和工件中心坐标输入后，就可以开始自动加工了。在 MDI 键盘上单击“程序”按钮，单击操作面板中“自动运行”按钮，再单击操作面板中“循环启动”按钮，机床就开始自动加工，加工结果见图 7.57。

习 题 7

7.1 如图 7.76 所示零件，工件材料为尼龙棒料，刀具材料为 W18Cr4V。运用循环指令编写加工程序。要求：

- (1) 分析加工工艺；
- (2) 选择刀具及切削用量；
- (3) 确定工件坐标系原点及换刀点；
- (4) 计算刀尖轨迹坐标值；
- (5) 编写加工程序；
- (6) 使用仿真软件对工件模拟加工；
- (7) 在数控机床上按加工要求对刀操作；
- (8) 按图示要求在数控机床上加工零件。

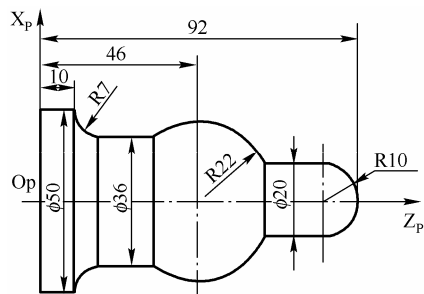


图 7.76 圆弧插补应用

7.2 如图 7.77 所示零件，试用手动编程与自动编程方法编制小轴的数控精加工程序。材料为 45#钢。要求同第 7.1 题。

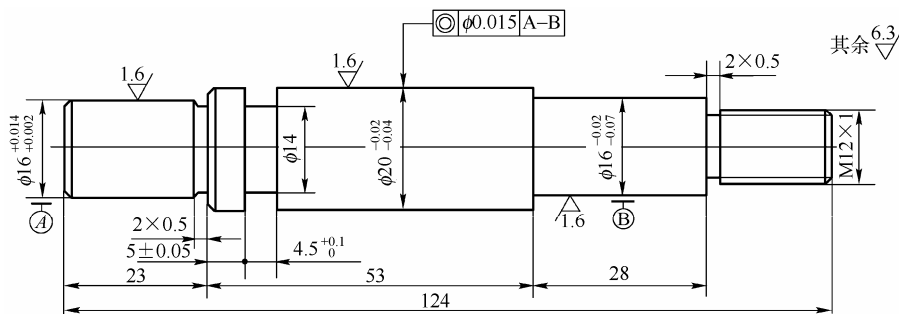


图 7.77

7.3 如图 7.78 所示零件，试用手动编程与自动编程方法编制标准件的数控加工程序。材料为 45[#] 钢， $\phi 60$ mm 棒料。要求同第 1 题。

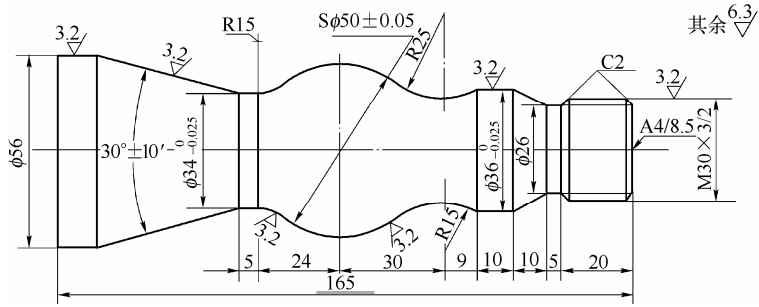


图 7.78

7.4 如图 7.79 所示零件，工件材料为 LY12（棒料），刀具材料为 W18Cr4V。切削深度：粗加工设定切削深度 a_p 为 1 mm，留精加工余量 0.5 mm。要求同第 1 题。

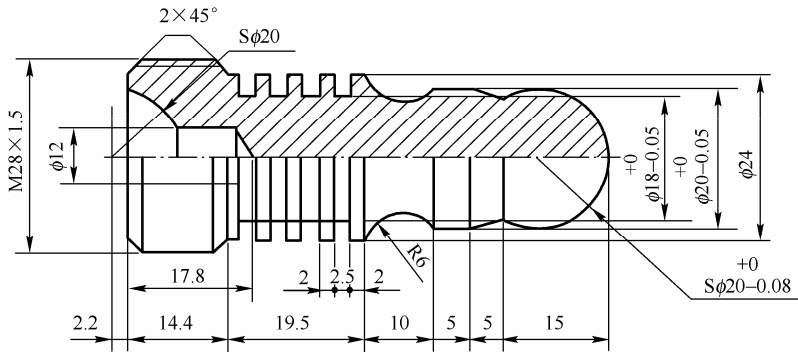


图 7.79

第 8 章 数控铣床仿真编程、加工实例

内容提要

子程序综合应用加工实例。固定循环指令综合应用加工实例。刀具半径补偿功能的编程与加工。二维复杂零件轮廓的编程与加工。三维复杂零件轮廓的编程与加工。

8.1 子程序综合应用加工实例

铣削加工如图 8.1 所示的平面零件，铣削深度为 5 mm。

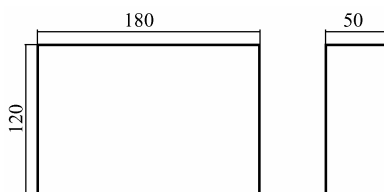


图 8.1

8.1.1 零件加工工艺分析

材料选用蜡模，首先将蜡模固定在工作台中心位置。工件坐标系原点取在蜡模上表面的左下角顶点处，刀具加工起点位置可选为 $(-10, -10, 10)$ 。

刀具选用圆柱铣刀($\phi 12$ mm)。

铣削方式：刀具平行长边往复铣削。

切削用量：主轴转速 600 r/min，进给速度 200 mm/min。

8.1.2 编程与仿真操作

1. 程序编制

参考程序如下：

```
O1000
N01 G90 G00 X-10 Y-10 Z10
N02 S600 M03
N03 G01 Z-5
N04 X0 Y0
N05 M98 P2000 L6
N06 G90 Z10
N07 G00 X-10 Y-10
```

N08 M05
N09 M30

O2000
N10 G91 G01 X180 F300
N11 Y11
N12 X-180
N13 Y11
N14 M99

将此数控程序在记事本中输入，文件名为“81.txt”。

2. 仿真加工

加工步骤：选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；装刀具、对刀；设置参数；自动加工。

下面利用“数控加工仿真系统（华中数控）”来介绍具体操作过程：

（1）选择机床。如图 8.2(a)所示，单击菜单“机床/选择机床…”，在“选择机床”对话框中，如图 8.2(b)所示，机床类型选择立式铣床，单击确定按钮，此时界面如图 8.3 所示。

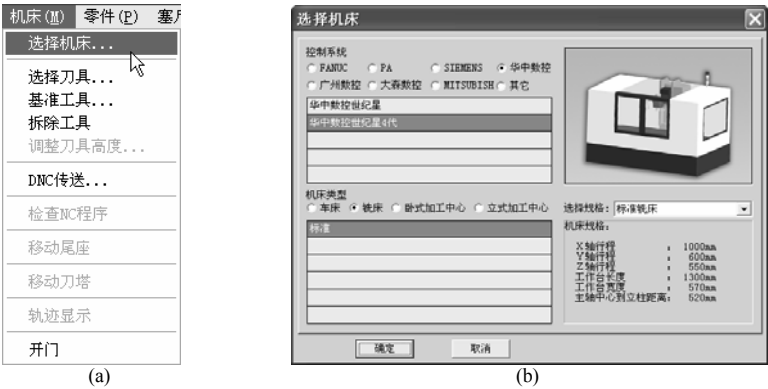


图 8.2

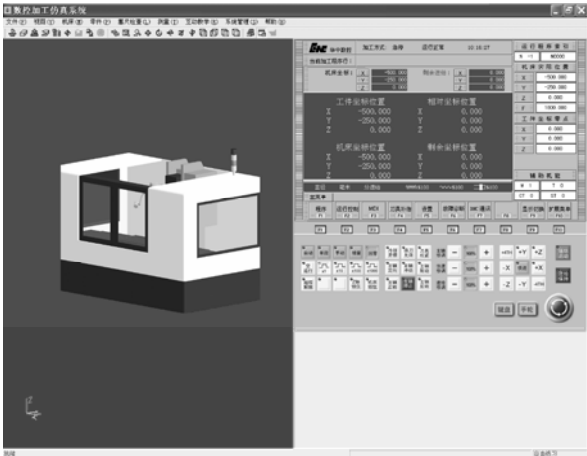









图 8.3

(2) 机床回零。

- ① 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。
- ② 检查操作面板上回零指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回零模式；若指示灯不亮，则单击按钮，进入回零模式。
- ③ 在回零模式下，单击控制面板上的按钮，此时 X 轴将回零，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，分别单击、按钮，可以将 Y、Z 轴回零。此时 CRT 界面如图 8.4 所示。

(3) 安装零件。

- ① 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 8.5 所示的“定义毛坯”对话框中，将零件尺寸改为高 50 mm、长 180 mm、宽 120 mm，名字为默认值“毛坯 1”，单击确定按钮。

工件坐标位置		相对坐标位置	
X	0.000	X	500.000
Y	0.000	Y	250.000
Z	0.000	Z	0.000
机床坐标位置		剩余坐标位置	
X	0.000	X	0.000
Y	0.000	Y	0.000
Z	0.000	Z	0.000

图 8.4

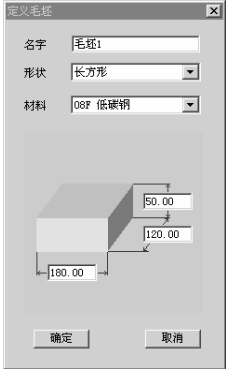


图 8.5

- ② 单击菜单“零件/安装夹具...”，在“选择夹具”对话框中，“选择零件”栏选取“毛坯 1”，“选择夹具”栏选取“工艺板”，夹具尺寸采用默认值，单击“确定”按钮，如图 8.6 所示。

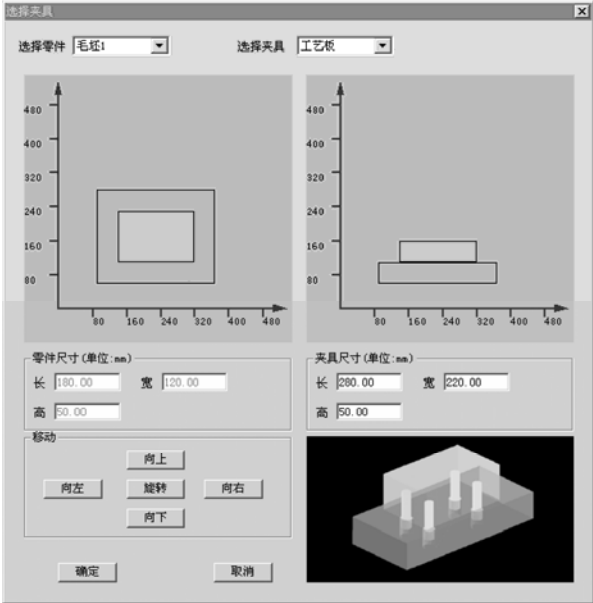


图 8.6

③ 单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 8.7 所示的“选择零件”对话框中，类型选择“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 8.8(a)所示，可以用其移动零件，移动完成，关闭该面板，此时机床如图 8.8(b)所示，零件已放置在机床工作台上面上。

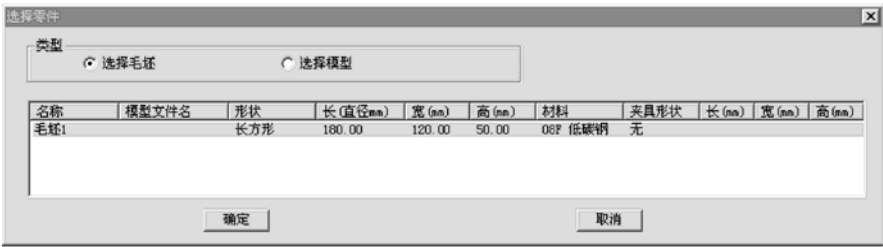


图 8.7

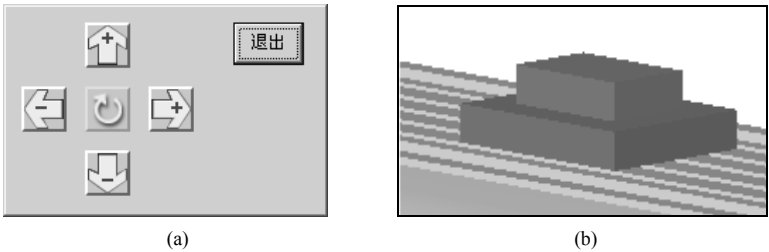


图 8.8

④ 单击菜单“零件/安装压板”，在如图 8.9(a)所示的“选择压板”对话框中，单击左边的图案，选取安装四块压板，压板尺寸采用默认值，单击“确定”按钮，此时机床台面上的零件已安装好压板，如图 8.9(b)所示。

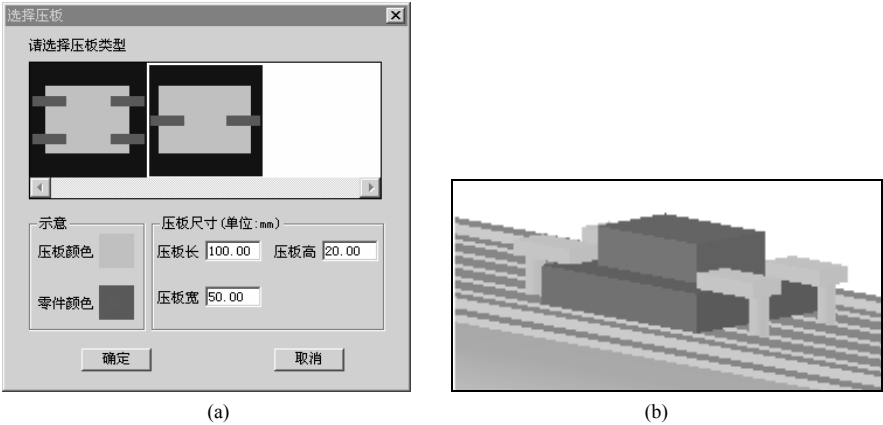


图 8.9

(4) 导入数控程序。单击软键 **F7** “DNC 通信”，则弹出“串口通信”对话框，如图 8.10(a)所示，单击“导入程序”按钮，弹出“打开”对话框，如图 8.10(b)所示，选择用记事本编辑好的程序文件“81.txt”，单击“打开”按钮，然后单击“结束 DNC 连接”按钮退出，加工程序导入完成。



图 8.10

(5) 检查运行轨迹。单击控制面板上的 按钮，切换到自动模式；再单击软键 “程序校验”，转入程序校验状态，此时左边的仿真机床消失；单击 按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，此时可通过“视图”菜单或工具条 中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对运行轨迹进行全方位的动态观察，通常是单击 按钮打开俯视图，再放大到满屏观察运行轨迹，运行轨迹如图 8.11 所示。

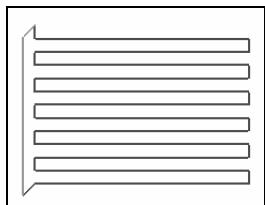


图 8.11 运行轨迹

(6) 选择刀具、对刀。运行轨迹正确，表明输入的程序基本正确，此数控程序要求以零件上表面中心点作为工件坐标系的原点。下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① X、Y 轴对刀。

a. 单击菜单“机床/基准工具...”，或单击图标 ，在“基准工具”对话框中选取左边的刚性圆柱基准工具；单击操作面板上的 按钮，切换到手动状态；单击 、、 按钮，将机床移动到如图 8.12 所示的大致位置。

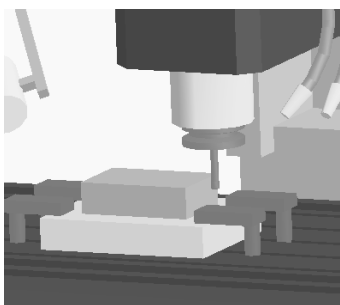


图 8.12

b. 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向对刀。先采用点动方式移动机床，将基准工具移动到如图 8.13 所示的位置；然后，单击操作面板上的 按钮，切换到增量状态，通过调节操作面板上的“倍率”按钮 、、、 和 按钮，采用点动方式移动机床，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”。



图 8.13

也可以单击 按钮，显示手轮，选择旋钮 和手轮移动量旋钮 ，调节手轮 ，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”。

记下塞尺检查为“合适”时 CRT 中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1，其值为-402.00。

c. 单击 按钮，切换到手动状态；单击 按钮，将工件提起；单击 按钮，将刀具

移到工件另一边，重复上述步骤，记下此时 X 的坐标，记为 X2，其值为-598.00；由此得到工件坐标系原点的 X 坐标为 $(X2+X1)/2$ ，记为 X，其值为 $(-402.00-598.00)/2=-500.00$ 。

d. Y 方向对刀采用同样的方法，可得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y，其值为 -415.00。


- ② Z 轴对刀。
- a. X, Y 方向完成对刀后，单击 **手动** 按钮，切换到手动状态；单击 **+Z** 按钮，抬高 Z 轴，再单击菜单“机床/拆除工具”拆除基准工具。
- b. 单击菜单“机床/选择刀具”，或单击  图标，在“选择铣刀”对话框中根据加工方式选择所需直径为 12 mm 的平底刀，单击“确认”按钮后退出，如图 8.14 所示。



图 8.14 “选择铣刀”对话框

c. 装好刀具后，分别单击 **-X**、**-Y**、**-Z** 按钮，将机床大致移动到工件上方；进行塞尺检查，得到工件上表面的 Z 坐标值，记为 Z1，其值为-352.00,得到工件中心的 Z 坐标等于 Z1-塞尺厚度。将工件的 Z 坐标记为 Z，其值为 $-352.00-1.00=-353.00$ 。这时收回塞尺。

以上得到的 (X, Y, Z) 即 (-500, -415, -353) 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

(7) 设置参数。此处设置参数采用的是 G54 方法：将对刀得到的工件在机床坐标系中的坐标数据 (X, Y, Z)，输入自动坐标系 G54，从而确定机床开始自动加工时的位置。

- (1) 输入 G54 工件坐标原点。
- ① 单击软键 **F5** “设置”，再单击软键 **F1** “坐标系设定”，进入自动坐标系设置界面，如图 8.15 所示。
- ② 单击 MDI 键盘，输入 G54 的值：“X-500Y-415Z-353”，单击 **Enter** 按钮确认，完成数据输入。此时 CRT 界面如图 8.16 所示。
- (2) 输入刀尖半径补偿参数。
- ① 单击软键 **F4** “刀具补偿”，再单击软键 **F2** “刀补表”，进入刀具表设定页面，如图 8.17 所示。

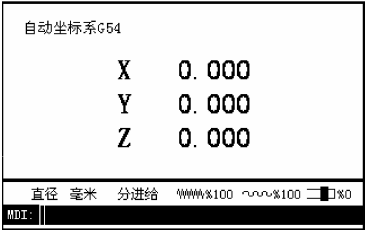


图 8.15

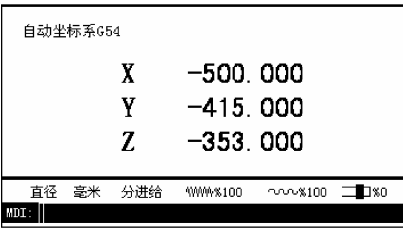






图 8.16

刀具表：					
刀号	组号	长度	半径	寿命	位置
#0000	-1	0.000	0.000	0	-1
#0001	-1	0.000	6.000	0	-1
#0002	-1	0.000	0.000	0	-1
#0003	-1	0.000	0.000	0	-1
#0004	-1	0.000	0.000	0	-1
#0005	-1	0.000	0.000	0	-1
#0006	-1	0.000	0.000	0	-1
#0007	-1	0.000	0.000	0	-1
#0008	-1	0.000	0.000	0	-1
#0009	-1	0.000	0.000	0	-1
#0010	-1	0.000	0.000	0	-1
#0011	-1	0.000	0.000	0	-1
#0012	-1	0.000	0.000	0	-1
直径 毫米 分进给 WWWW%100 ~~~~%100 二□%0					

图 8.17

② 用方位按钮 ◀、▶、▼、▲ 将光标移到半径栏中，单击  按钮后，输入半径补偿值。将选择刀具时设定的刀尖半径 6 mm 输入到第二行的半径栏中，（刀尖半径可在选择铣刀界面下方读出刀尖直径除以 2 得到）；单击  按钮确定。

（8）自动加工。完成导入数控程序、对刀、设置刀具补偿参数后，即可进行自动加工。先将机床回零，在控制面板上单击  按钮，进入到自动加工状态，单击  按钮，即开始自动加工。

8.2 固定循环指令综合应用加工实例

采用重复固定循环方式钻削加工如图 8.18 所示的各孔。钻头直径为 10 mm，工件毛坯是长、宽均为 160 mm，厚度为 30 mm 的正方形铝件。

8.2.1 相关知识

固定循环指令的程序格式：

$$\begin{cases} G98 \\ G99 \end{cases} \begin{cases} G_X_Y_Z_R_Q_P_I_J_ \\ K_F_ \end{cases}$$

式中，G98——返回初始平面；
G99——返回 R 点平面指令；

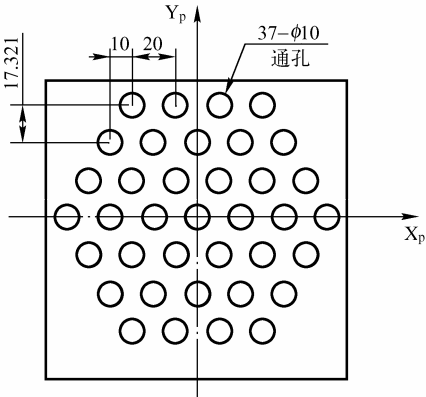


图 8.18

G73——固定循环代码；
X、Y——孔位数据指被加工孔的坐标位置；
Z——孔底的坐标；
R——初始点的位置；
Q——每次进给深度；
K——每次退刀位移增量；
P——刀具在孔底的暂停时间；
F——刀具切削进给速度。

8.2.2 零件加工工艺分析

装夹方式：平口虎钳夹紧，并固定在工作台上。

刀具选用： $\phi 10$ mm 麻花钻头。

工件坐标系：工件上表面中心。

切削用量：主轴转速 600 r/min，进给速度 60 mm/min。

8.2.3 编程与仿真操作

1. 程序编制

参考程序如下：

```
%1100
N01 G54 G90 G00 X0. Y0. Z100.
N02 M03 S600
N03 G00 X-30. Y51.963
N04 Z5.
N05 G91 G99 G73 R3. Z-40. Q5. K2 F60
N06 X20.
N07 X20.
N08 X20.
N09 X10. Y-17.321
N10 X-20.
N11 X-20.
N12 X-20.
N13 X-20.
N14 X-10. Y-17.321
N15 X20.
N16 X20.
N17 X20.
N18 X20.
N19 X20.
N20 X10. Y-17.321
N21 X-20.
```


N22 X-20.
 N23 X-20.
 N24 X-20.
 N25 X-20.
 N26 X-20.
 N27 X10. Y-17.321
 N28 X20.
 N29 X20.
 N30 X20.
 N31 X20.
 N32 X20.
 N33 X-10. Y-17.321
 N34 X-20.
 N35 X-20.
 N36 X-20.
 N37 X-20.
 N38 X10. Y-17.321
 N39 X20.
 N40 X20.
 N41 X20.
 N42 G80
 N43 G90 G00 Z100.
 N44 X0. Y0. M05
 N45 M30

将此数控程序在记事本中输入，文件名为 82.txt。

2. 仿真加工



加工准备：选取直径为 10 mm 的钻头；选择高为 30 mm，长、宽均为 160 mm 的毛坯；采用 G54 定位坐标系。



加工步骤：选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；装刀具、对刀；设置参数；自动加工。



下面利用“数控加工仿真系统（FANUC 0i）”来介绍具体操作过程。

（1）选择机床。如图 8.19(a)，单击菜单“机床/选择机床...”，在“选择机床”对话框中，如图 8.19(b)所示，控制系统选择 FANUC 0i，机床类型选择铣床，单击“确定”按钮，此时界面如图 8.20 所示。

（2）机床回零。

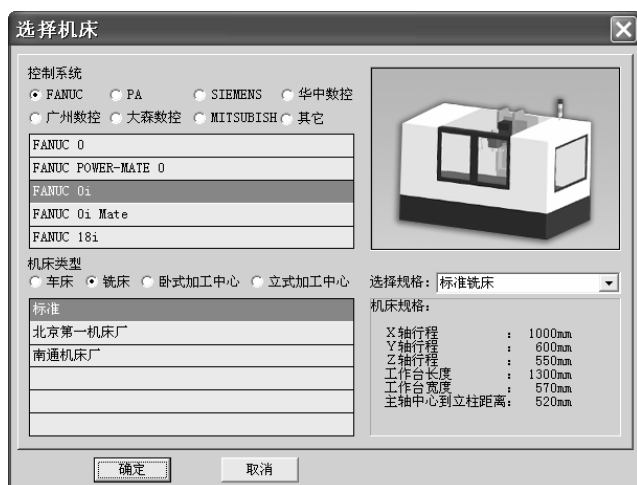
① 单击“启动”按钮，此时机床电机和伺服控制的指示灯变亮。

② 检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

③ 检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击按钮，进入回原点模式。



(a)



(b)

图 8.19

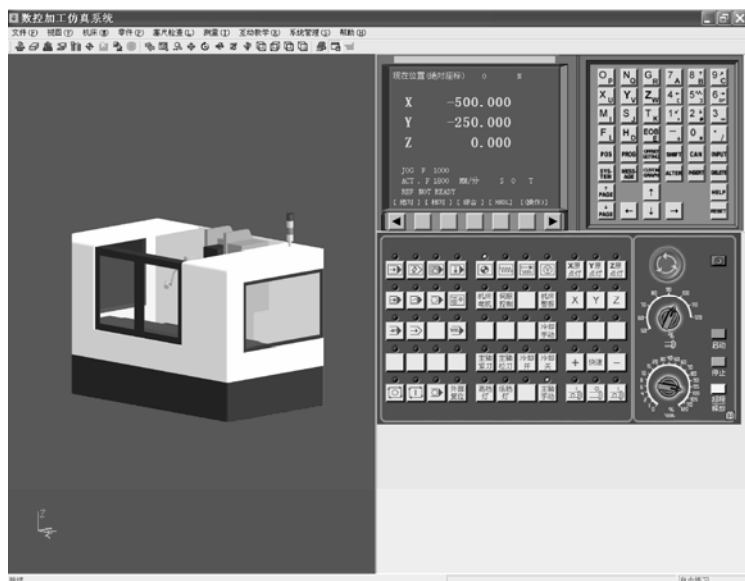


图 8.20

④ 在回原点模式下，先将 X 轴回原点。单击操作面板上的 **X** 按钮，再单击 **+** 按钮，此时 X 轴将回原点，同时 X 轴回原点灯 **X** 变亮，CRT 上的 X 坐标变为“0.000”。同样，再分别单击 Y 轴、Z 轴方向移动按钮 **Y**、**Z**，使指示灯变亮，单击 **+** 按钮，Y 轴、Z 轴将回原点，同时 Y 轴、Z 轴回原点灯 **Y**、**Z** 变亮。此时 CRT 界面如图 8.21 所示。

(3) 安装零件。

① 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 8.22 所示的“定义毛坯”对话框中，将零件形状改为圆柱形，尺寸改成高为 30 mm、长和宽均为 160 mm，名字为默认值“毛坯 1”，单击“确定”按钮。

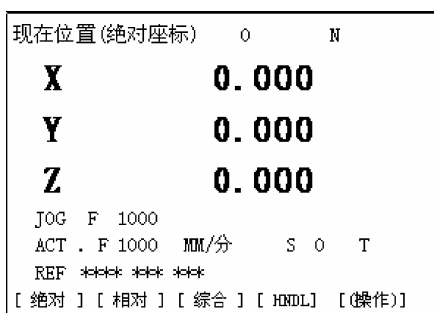


图 8.21



图 8.22

② 单击菜单“零件/安装夹具...”，在如图 8.23 所示的“选择夹具”对话框中，“选择零件”栏中选取“毛坯 1”，“选择夹具”栏中选取“卡盘”，夹具尺寸采用默认值，单击“确定”按钮。

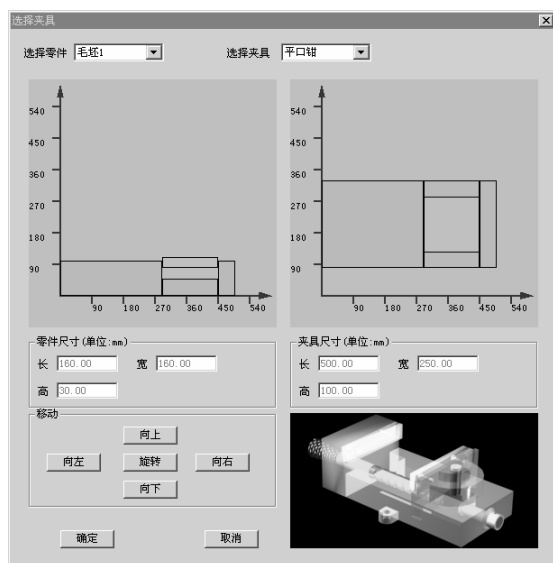


图 8.23

③ 单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 8.24 所示的“选择零件”对话框中，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 8.25(a)所示，可以用其移动零件，完成零件移动后，关闭该面板，此时机床如图 8.25(b)所示。

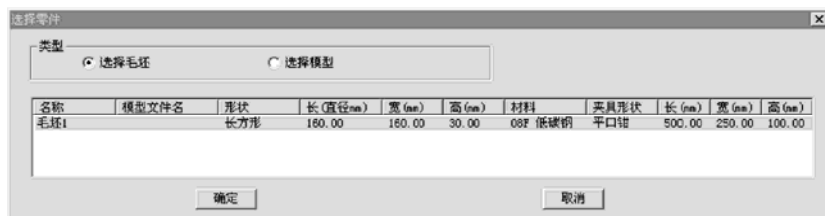


图 8.24

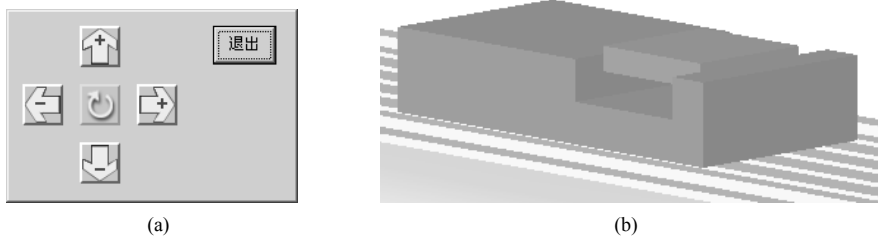


图 8.25





(4) 导入 NC 程序。单击操作面板上的“编辑”按钮，编辑状态指示灯变亮，此时已进入编辑状态；单击 MDI 键盘上的 **PROG** 按钮，CRT 界面转入编辑页面；再单击软键“操作”，在出现的下级子菜单中单击软键，此时可见软键 **[F检索]**，单击此软键，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，如图 8.26 所示，单击“打开”按钮；在同一菜单级中，单击软键 **[READ]**，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0082”，单击软键 **[EXEC]**，则数控程序显示在 CRT 界面上。



图 8.26

(5) 检查运行轨迹。NC 程序导入后，可检查运行轨迹。单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮，进入自动加工模式；单击 MDI 键盘上的 **PROG** 按钮，选定的数控程序显示在 CRT 界面上；单击 **CUSTOM GRAPH** 按钮，进入检查运行轨迹模式；此时单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，如图 8-27 所示。图中红线（软件中显示）代表刀具快速移动的轨迹，绿线（软件中显示）代表刀具切削的轨迹。

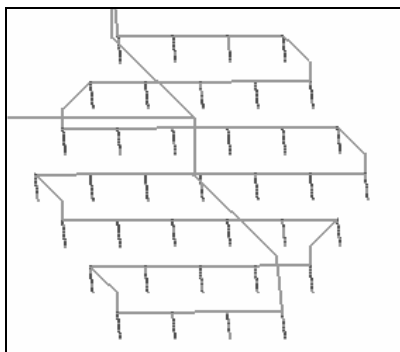








图 8.27 运行轨迹

(6) 装刀具、对刀。运行轨迹正确，表明输入的程序基本正确，此数控程序以零件上表面中心点作为原点，下面将说明如何通过对刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① 单击菜单“机床/基准工具...”，在如图 8.28 所示的“基准工具”对话框中，选取左边的刚性圆柱基准工具，其直径为 14 mm；单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯变亮，机床转入手动加工状态；利用操作面板上的、、按钮和、按钮，将机床移动到如图 8.29 所示的大致位置。

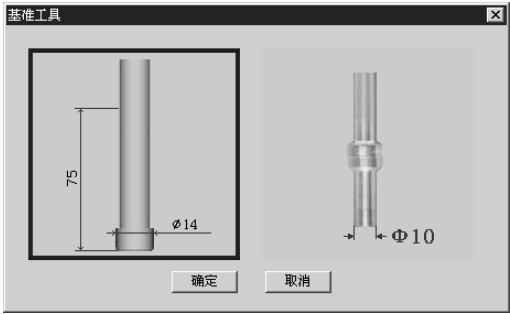


图 8.28

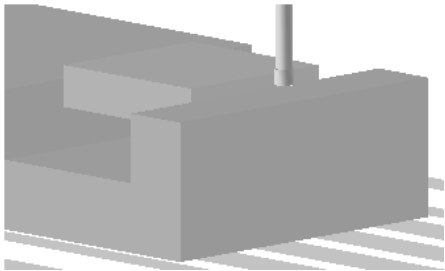









图 8.29

② 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向的对刀。将基准工具移动到如图 8.30 所示位置，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮；此时可采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动零件，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，记下此时 CRT 中的 X 坐标，即基准工具中心的 X 坐标，记为 X1，其值为-412.0。

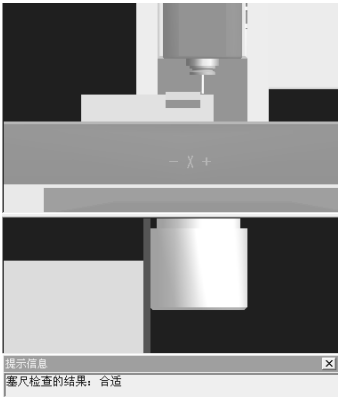










图 8.30

③ 单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯变亮，机床转入手动加工状态，单击和按钮，将 Z 轴提起；单击和按钮，将基准工具移到工件的另一边，重复上面的步骤，记下此时 CRT 中的 X 的坐标，记为 X2，其值为-588.0，由此得到工件坐标原点的 X 坐标为 $(X1+X2)/2 = (-412.0-588.0)/2 = -500.00$ 。同样操作可得到工件中心的 Y 坐标为-415.0。

④ X, Y 方向对刀完成后，单击菜单“塞尺检查/收回塞尺”，收回塞尺；单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯变亮，机床转入手动加工状态；单击和按钮，将 Z 轴提起；再单击菜单“机床/拆除工具”，拆除基准工具；单击菜单“机床/选择刀具”，在如图 8.31 所示的“选择铣刀”对话框中，根据加工方式选择所需直径为 10 mm 的平底刀，单击“确定”按钮后退出。

装好刀具后，将机床移到大致位置进行塞尺检查，可以得到工件上表面的 Z 坐标值，记为 Z1，其值为-342.00。由此可得到工件坐标原点的 Z 坐标为 Z1-塞尺厚度，记为 Z，其值为-342.00-1.00=-343.00。

此时得到的 (X, Y, Z)，即 (-500, -415, -343) 为工件坐标系原点在机床坐标系中

的坐标值。

(7) 设置参数。确定工件与机床坐标系的关系有两种方法，一种是通过 G54~G59 设定，另一种是通过 G92 设定。此处采用的是 G54 方法：将对刀得到的工件原点在机床坐标系上的坐标数据 (X, Y, Z)，输入自动坐标系 G54 中，从而确定机床开始自动加工时的位置。



首先输入 G54 工件坐标原点，然后在 MDI 键盘上单击  按钮三次，进入坐标系参数设定界面；单击软键 **[操作]**，并单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“01”；单击软键 **[NO检索]**，光标停留在 G54 坐标参数设定区域；先设定 X 坐标值，利用 MDI 键盘输入“-500.00”，单击软键 **[输入]**，则 G54 中 X 的坐标值变为-500.00；用方位按钮  将光标移至 Y 的位置，同样输入“-415.00”，单击软键 **[输入]**；再将光标移至 Z 的位置，同样输入“-343.00”，单击软键 **[输入]**，即完成了 G54 参数的设定。此时 CRT 界面如图 8.32 所示。



图 8.31



(8) 自动加工。先将机床回零；单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯  变亮，单击“循环启动”按钮 ，就可以自动加工了。加工结果如图 8.33 所示。



图 8.32

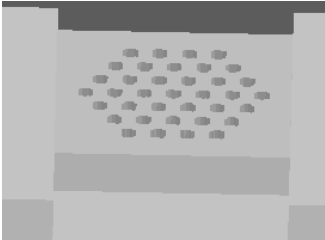


图 8.33

8.3 刀具半径补偿功能的编程与仿真加工

铣削加工如图 8.34 所示零件的外轮廓，效果如图 8.35 所示。

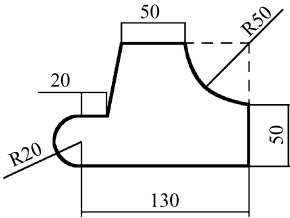


图 8.34



图 8.35

8.3.1 相关知识

数控加工程序是根据零件轮廓编制的。刀具移动的轨迹是根据零件图，按照已经确定的加工工艺、加工路线和允许的加工误差计算出来的。

在进行零件轮廓加工时，刀具中心轨迹相对于零件轮廓应让开一个刀具半径的距离，即刀具半径偏置或刀具半径补偿。根据零件轮廓编制的程序和预先设定的偏置参数，数控系统能自动完成刀具半径补偿功能。G40、G41、G42 为刀具半径补偿指令。

格式：

$$\begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G41 \\ G42 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} \alpha_ \beta_ D_ \\ G40 \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} \alpha_ \beta_$$

G40——取消刀具半径补偿功能的指令；

G41——在相对于刀具前进方向左侧进行补偿，称为左刀补；

G42——在相对于刀具前进方向右侧进行补偿，称为右刀补。

G40、G41、G42 都是模态代码，可相互注销。

D 指令（刀补号地址）后跟的数值是刀补号，刀补号地址数设有 100 个，即 D00～D99。它用来调用内存中刀具半径补偿的数值，例如，D01 就是调用在刀具表中第 1 号刀具的半径值。这一半径值是预先输入到内存刀具表中 01 号位置上的。

在进行刀具半径补偿前，必须用 G17 或 G18、G19 指令，指定补偿是在哪个平面上进行的； α 、 β 必须与指定平面中的轴相对应；在多轴联动控制中，投影到补偿平面上的刀具轨迹受到补偿；平面选择的切换必须在补偿取消方式下进行，若在补偿方式下进行，则系统报警。

8.3.2 加工工艺分析

毛坯：尺寸为高 50 mm、长 180 mm、宽 120 mm 的长方体。

刀具选用：采用直径为 12 mm 圆柱铣刀，刀具半径补偿值 6 mm。

切入切出方式：将工件（蜡模）固定在工作台中心位置。刀具加工起点位置应在工件上方，不接触工件，但不能使空刀行程太长。由于铣削零件平面轮廓时用刀的侧刃，为了避免在零件轮廓的切入点和切出点处留下刀痕，应沿轮廓外形的延长线切入和切出，切入和切出点一般选在零件轮廓两几何元素的交点处。此外，应避免在零件垂直表面的方向上下刀，否则会留下划痕，影响零件的表面粗糙度。

工件坐标系：工件上表面右下角为工件坐标系原点。刀具起刀点设在 Z 向距工件（蜡模）上表面 10 mm 处，刀具中心在 X 向距蜡模 20 mm，Y 向距蜡模 20 mm 的位置；通过建立左右刀补，调用刀具半径补偿偏置量，完成加工后取消刀补，刀具回到起点位置；

切削用量：主轴转速 600 r/min，进给速度 200 mm/min。

8.3.3 编程与仿真操作

1. 程序编制

以工件右下角为程序原点，建立工件坐标系。计算各基点绝对坐标值。基点就是构成零件轮廓的各相邻几何元素之间的交点，如两直线的交点、直线与圆弧的交点等。基点的坐标根据图样给定的尺寸，利用一般的解析几何知识或三角函数关系不难求得。

参考程序：

```
O1000
N01 G90 G54 G00 X20 Y-20 Z10
N02 G00 G42 D01 Z-6
N03 G01 X0 F200 M03 S600
N04 Y50
N05 G02 X-50 Y100 R50
N96 G01 X-100
N07 X-110 Y40
N08 X-130
N09 G03 X-130 Y0 R20
N10 G01 X20
N11 Z10
N12 G40 G00 X20 Y-20 M05
N13 M30
```

将此数控程序在记事本中输入，文件名为 83.txt。

2. 仿真加工

加工步骤：选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；装刀具，对刀；设置参数；自动加工。

下面利用“数控加工仿真系统（华中数控）”铣床来介绍具体操作过程：

- （1）选择机床。操作同 8.1 节所示图例步骤。
- （2）机床回零。操作同 8.1 节所示图例步骤。
- （3）安装零件。

- ① 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 8.36 所示的“定义毛坯”对话框中，将零件尺寸改为高 50 mm、长 180 mm、宽 120 mm，名字为默认值“毛坯 1”，单击“确定”按钮。
- ② 单击菜单“零件/安装夹具...”，在如图 8.37 所示的“选择夹具”对话框中，“选择零件”栏选取“毛坯 1”，“选择夹具”栏选取“工艺板”，夹具尺寸采用默认值，单击“确定”按钮。

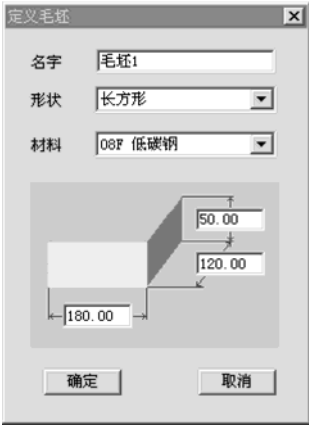


图 8.36

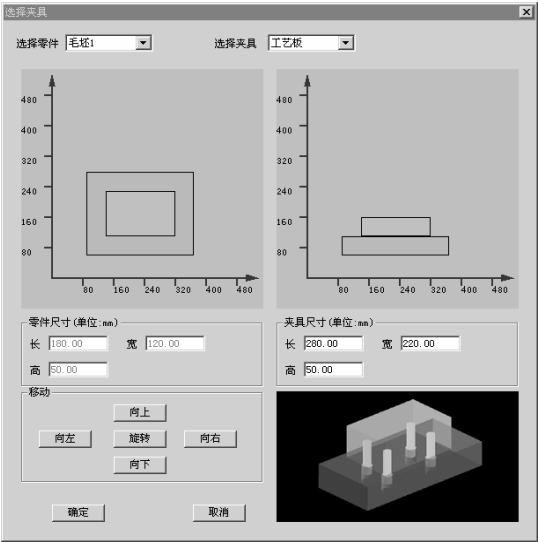


图 8.37

- ③ 单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 8.38 所示的“选择零件”对话框中，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 8.39（a）所示，完成零件移动后，单击面板上的“退出”按钮，关闭该面板，此时机床如图 8.39（b）所示。零件已放置在机床工作台面上。



图 8.38

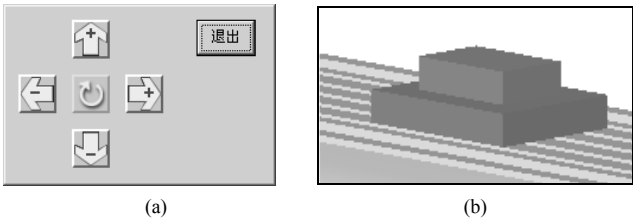


图 8.39

④ 单击菜单“零件/安装压板”，在如图 8.40(a)所示的“选择压板”对话框中，单击左边的图案，选取安装四块压板，压板尺寸采用默认值，单击“确定”按钮，此时机床台面上的零件已安装好压板，如图 8.40(b)所示。

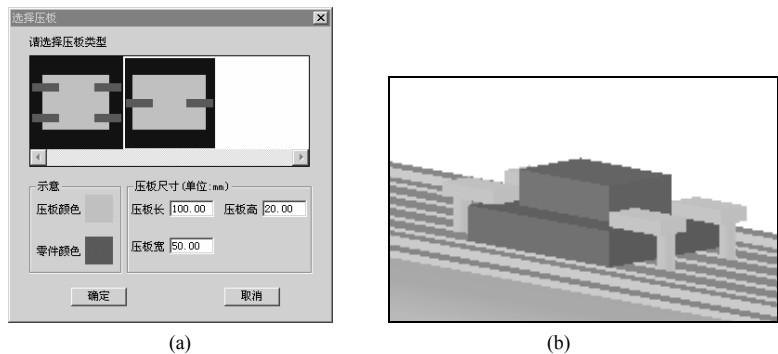


图 8.40

(4) 导入数控程序。单击软键 **F7** “DNC 通信”，则弹出“串口通信”对话框，如图 8.41(a)所示，单击“导入程序”按钮，弹出“打开”对话框，如图 8.41(b)所示，选择用记事本编辑好的程序文件“83.txt”，单击“打开”按钮，然后单击“结束 DNC 连接”按钮退出，加工程序导入完成。



图 8.41

(5) 检查运行轨迹。单击控制面板上的 **自动** 按钮，切换到自动模式；再单击软键 **F5** “程序校验”，转入程序校验状态，此时左边的仿真机床消失；单击 **循环启动** 按钮，即可观察数控程序的运行轨迹，此时可通过“视图”菜单或工具条中的动态旋转、动态放缩、动态平移等方式对运行轨迹进行全方位的动态观察，通常可单击 **按钮** 打开俯视图，再放大到全屏观察运行轨迹，运行轨迹如图 8.42 所示。

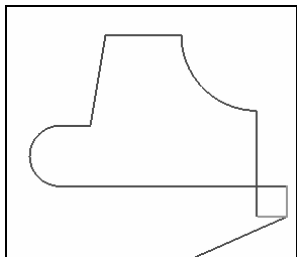







图 8.42 运行轨迹

(6) 选择刀具、对刀。运行轨迹正确，表明输入的程序基本正确，此数控程序要求以零件上表面右下角点作为工件坐标系的原点，下面将说明如何通过对刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① X、Y 轴对刀。

a. 单击菜单“机床/基准工具...”，或单击图标 **按钮**，在“基准工具”对话框中选取左边的刚性圆柱基准工具；单击操作面板上的 **手动** 按钮，切换到手动状态；单击 **-X**、**-Y**、**-Z** 按

钮，将机床移动到如图 8.43 所示的大致位置。

b. 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向对刀。先采用点动方式移动机床，将基准工具移动到如图 8.44 所示的位置；然后，单击操作面板上的“增量”按钮，切换到增量状态，通过调节操作面板上的“倍率”按钮、、、和按钮采用点动方式移动机床，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”。

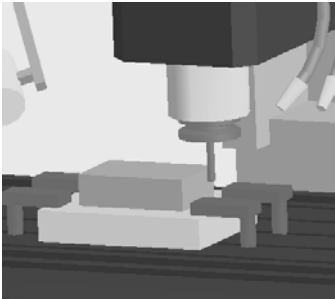


图 8.43

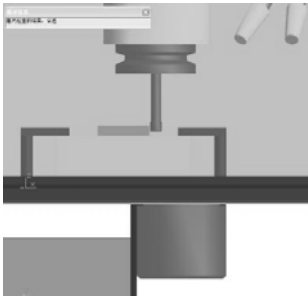








图 8.44

也可以单击按钮，显示手轮，选择旋钮和手轮移动量旋钮，调节手轮，使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”。

记下塞尺检查为“合适”时 CRT 中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1，其值为-402.00；由此可得到工件坐标系原点的 X 坐标为 X1+基准工具半径+塞尺厚度，记为 X，其值为 $(-402.00-7.00-1.00)=-410.00$ 。

c. Y 方向对刀采用同样的方法，可以得到工件坐标系原点的 Y 坐标，记为 Y，其值为-475.00。

② Z 轴对刀。

a. X，Y 方向完成对刀后，单击按钮，切换到手动状态；单击按钮，抬高 Z 轴，再单击菜单“机床/拆除工具”拆除基准工具。

b. 单击菜单“机床/选择刀具”，或单击图标，在“选择铣刀”对话框中根据加工方式选择所需直径为 12 mm 的平底刀，单击“确认”按钮后退出，如图 8.45 所示。



图 8.45 “选择铣刀”对话框

③ 装好刀具后，单击 **-X**、**-Y**、**-Z** 按钮，将机床移动到大致位置，进行塞尺检查，可以得到工件上表面的 Z 坐标值，记为 Z1，其值为-352.00。由此可以得到工件坐标系原点的 Z 坐标为 Z1-塞尺厚度，得到工件中心的 Z 坐标，记为 Z，其值为-352.00-1.00= -353.00。

此时得到的 (X、Y、Z) 即 (-410，-475，-353) 为程序原点在机床坐标系中的坐标值。

(7) 设置参数。此处采用的是 G54 方法：将对刀得到的工件在机床坐标系中的坐标数据 (X,Y,Z)，输入自动坐标系 G54 中，从而确定机床开始自动加工时的位置。

① 输入 G54 工件坐标原点。

a. 单击软键 **F5** “设置”，再单击软键 **F1** “坐标系设定”，进入自动坐标系设置界面，如图 8.46 所示。

b. 单击 MDI 键盘，输入 G54 的值：“X-410.Y-475.Z-353.”，单击 **Enter** 按钮确认，完成数据输入。此时 CRT 界面如图 8.47 所示。

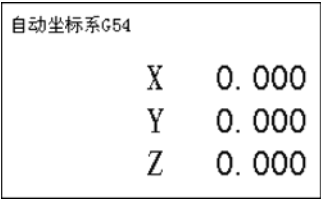


图 8.46

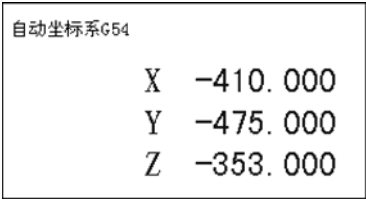


图 8.47

② 输入刀尖半径补偿参数。

a. 单击软键 **F4** “刀具补偿”，再单击软键 **F2** “刀补表”进入刀具表设定页面，如图 8.48 所示。

刀具表：					
刀号	组号	长度	半径	寿命	位置
#0000	-1	0.000	0.000	0	-1
#0001	-1	0.000	6.000	0	-1
#0002	-1	0.000	0.000	0	-1
#0003	-1	0.000	0.000	0	-1
#0004	-1	0.000	0.000	0	-1
#0005	-1	0.000	0.000	0	-1
#0006	-1	0.000	0.000	0	-1
#0007	-1	0.000	0.000	0	-1
#0008	-1	0.000	0.000	0	-1
#0009	-1	0.000	0.000	0	-1
#0010	-1	0.000	0.000	0	-1
#0011	-1	0.000	0.000	0	-1
#0012	-1	0.000	0.000	0	-1
直径		毫米	分进给	~~~~~x100	~~~x100
					□%0

图 8.48

b. 用方位按钮 **◀**、**▶**、**▼**、**▲** 将光标移到半径栏中，单击 **Enter** 按钮后，输入半径补偿值。将选择刀具时设定的刀尖半径 6 mm 输入到第二行的半径栏中，（刀尖半径可在选择铣刀界面下方读出刀尖直径除以 2 得到）；单击 **Enter** 按钮确定。

(8) 自动加工。先将机床回零；单击 **自动** 按钮，切换到自动加工状态，单击 **循环启动** 按钮即开始自动加工，加工结果见图 8.35。

8.4 二维复杂零件轮廓的编程与仿真加工

零件如图 8.49 所示，工件厚度为 10 mm。

8.4.1 相关知识

数控铣床的主要加工对象为平面类零件、箱体类零件和曲面类零件。如果换上孔加工刀具，还能进行数控钻、镗、铰、铰及攻螺纹等孔的加工操作。

1. 绝对值编程指令（G90）和相对值编程指令（G91）

格式：

$$\begin{cases} \text{G90} \\ \text{G91} \end{cases} \text{G} _ \text{X} _ \text{Y} _ \text{Z} _$$

式中，G90——绝对值编程指令，每个坐标轴上的编程值均是相对于编程原点的；

G91——相对值编程指令，每个坐标轴上的编程值均是相对于前一位置而言的，该值等于沿坐标轴移动的距离。

G90、G91 为模态功能指令，G90 为编程默认值。

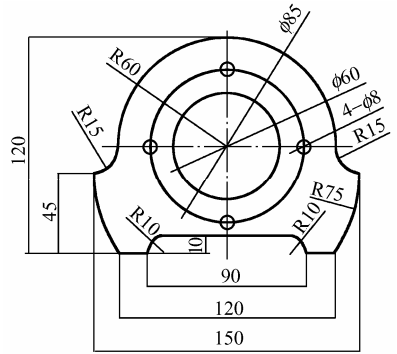


图 8.49 零件图

2. 固定循环指令（G98，G99）

固定循环指令的程序格式包括数据形式、返回点平面、孔加工方式、孔位置数据、孔加工数据和循环次数。数据形式（G90 或 G91）在程序开始时就已指定，因此，在固定循环指令的程序格式中可不注出。

格式：

$$\begin{cases} \text{G98} \\ \text{G99} \end{cases} \text{G} _ \text{X} _ \text{Y} _ \text{Z} _ \text{R} _ \text{Q} _ \text{P} _ \text{I} _ \text{J} _ \text{K} _ \text{F} _ \text{L} _$$

式中，G98——返回初始平面；

G99——返回 R 点平面指令；

G73——固定循环代码；

X、Y——孔位数据指被加工孔的坐标位置；

Z——孔底的坐标；

R——初始点的位置；

Q——每次进给深度；

K——每次退刀位移增量；

P——刀具在孔底的暂停时间；

F——刀具切削进给速度；

L——固定循环的次数。

8.4.2 加工工艺分析

毛坯：高 70 mm，直径 160 mm 的圆柱体。

装夹方式：采用卡盘装夹。

工件坐标系：工件坐标系原点设定为毛坯上表面对刀点处，参见图 8.50。

刀具选用：直径为 10 mm 圆柱铣刀一把，直径为 8 mm 麻花钻一把。

切削用量：主轴转速 300 r/min，进给速度 150 mm/min。

8.4.3 数学计算

以图 8.50 上的毛坯对刀点为程序原点，建立工件坐标系。根据零件图中的尺寸标注，计算其余点的绝对坐标值。

8.4.4 编程与仿真操作

1. 程序编制

参考程序如下：

```
%2000
N01 G54G90G00X100.0Y80.0Z10.0
N02 S600M03
N03 X100.0Y30.0
N04 G01Z-11.0F30
N05 G41D01X75.0Y-10.0F100
N06 G91G01Y-5.0
N07 G90G02X60.0Y-60.0R75.0
N08 G91G01X-15.0
N09 G03X-10.0Y10. R10.0
N10 G90G01X-35.0
N11 G03X-45.0Y-60.0R10.0
N12 G91G01X-15.0
N13 G90G02X-75.0Y-15.0R75.0
N14 G03X-60.0Y0R15.0
N15 G02X60.0R60.0
N16 G91G03X15.0Y-15.0R15.0
N17 G01X10.0
N18 G90G00Z5.0
N19 G40G00X0.0Y0.0
N20 G01Z-11.0F30
N21 G01G42D01X-10.0Y10.0F100
N22 G02X0.0Y30.0R30.0
N23 J-30.
N24 X10.0Y10.0R30.0
N25 G01G40X0.Y0.
N26 G00Z100.0
N27 M30
```

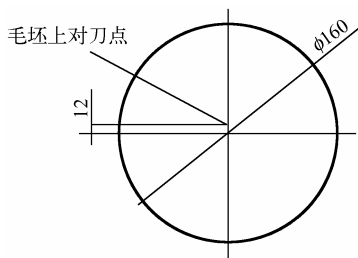


图 8.50

将此数控程序在记事本中输入，文件名为 84A.txt。

以下程序为钻削加工程序，刀具换为麻花钻（ $\phi 8$ mm）。

```
N01 G54G90G00X0.0Y0.0Z10.0
```

```
N02 S600M03
N03 G00X0.0Y42.5
N04 G99G73R5.0Z-12.0Q5.0K2F100
N05 Y-42.5
N06 X42.5Y0.0
N07 X-42.5
N08 G80G00X0.0Y0.0
N09 Z100.0M05
N10 X0.0Y0.0
N11 M30
```

将此数控程序在记事本中输入，文件名为 84B.txt。

2. 仿真加工

加工准备：选取直径为 10 mm 的平底刀，选择高为 70 mm，直径 160 mm 的毛坯。采用 G54 定位坐标系。

加工步骤：选择机床；机床回零；安装零件；导入数控程序；检查运行轨迹；装刀具、对刀；设置参数；自动加工。

下面利用“数控加工仿真系统（FANUC 0i）铣床”来介绍具体操作过程。

- (1) 选择机床。同 8.2 节。
- (2) 机床回零。同 8.2 节。
- (3) 安装零件。

① 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 8.51 所示的“定义毛坯”对话框中，将零件形状改为圆柱形，尺寸改为高 70 mm、直径 160 mm，名字为默认值“毛坯 1”，单击“确定”按钮。

② 单击菜单“零件/安装夹具...”，在如图 8.52 所示的“选择夹具”对话框中，“选择零件”栏中选取“毛坯 1”，“选择夹具”栏中选取“卡盘”，夹具尺寸采用默认值，单击“确定”按钮。

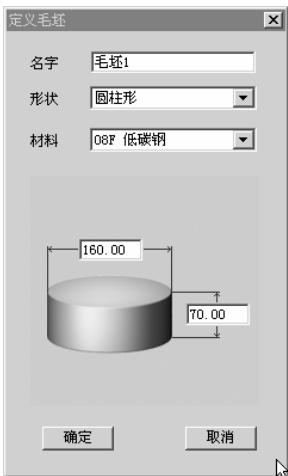


图 8.51

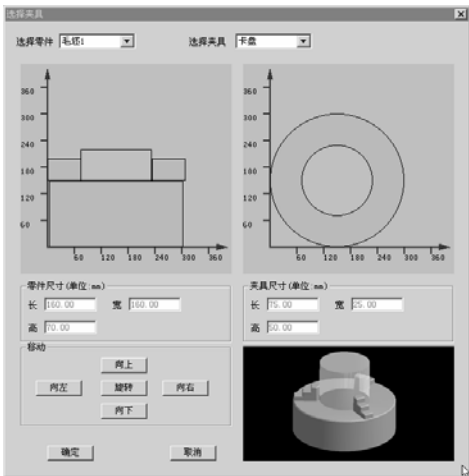


图 8.52

③ 单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 8.53 所示的“选择零件”对话框中，选取类

型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 8.54(a)所示，完成零件移动后，关闭该面板，此时机床如图 8.54(b)所示，零件已放置在机床工作台面上。



图 8.53

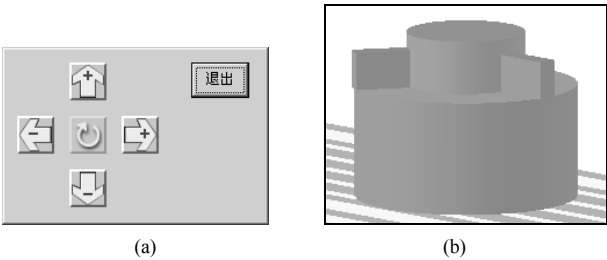


图 8.54








(4) 导入 NC 程序。单击操作面板上的“编辑”按钮，进入编辑状态；单击 MDI 键盘上的 **PROG**，CRT 界面转入编辑页面，单击软键，在出现的下级子菜单中单击软键，再单击软键，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，如图 8.55 所示，单击“打开”按钮。在同一菜单级中，单击软键，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0084”，单击软键，则数控程序显示在 CRT 界面上。用相同的方法将钻削加工程序导入，程序名为“O0085”。



图 8.55

(5) 检查运行轨迹。单击操作面板上的“自动运行”按钮，进入自动加工模式；单击 MDI 键盘上的 **PROG** 按钮，选定的数控程序显示在 CRT 界面上；单击 **CUSTOM GRAPH** 按钮，进入检查运行轨迹模式，单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹。O0084、O0085 程序运行轨迹分别如图 8.56、图 8.57 所示，图中红线（软件中可显示）代表刀具快速移动的轨迹，绿线（软件中可显示）代表刀具切削的轨迹。

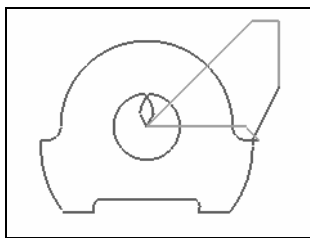


图 8.56 O0084 程序运行轨迹

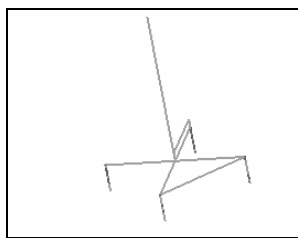


图 8.57 O0085 程序运行轨迹

(6) 平铣刀装刀、对刀。运行轨迹正确表明输入的程序基本正确，此数控程序以零件上表面中心点作为原点。下面将说明如何通过刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① 单击菜单“机床/基准工具...”，在如图 8.58 所示的“基准工具”对话框中选取左边的刚性圆柱基准工具，其直径为 14 mm；单击操作面板上的“手动”按钮，进入手动加工状态，利用操作面板上的 X、Y、Z 按钮和 +、- 按钮，将机床移到如图 8.59 所示的大致位置。

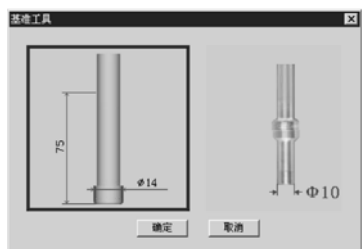


图 8.58 “基准工具”对话框

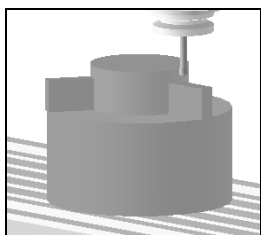









图 8.59

② 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向对刀，将基准工具移动到如图 8.60 所示的位置，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮  或 ，使手动脉冲指示灯  变亮；此时可采用手动脉冲方式精确移动机床，单击  显示手轮，将手轮对应轴旋钮  置于 X 档，调节手轮进给速度旋钮 ，在手轮  上单击鼠标左键或右键精确移动零件，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，记下此时 CRT 中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1，其值为 -412.008。

③ 单击操作面板上的“手动”按钮，使机床转入手动加工状态；单击 Z 和 + 按钮，将 Z 轴提起，单击 X 和 + 按钮，将基准工具移到工件的另一边，重复上面步骤，记下此时 CRT 中的 X 的坐标，记为 X2，其值为 -587.992，由此可得到工件坐标系原点的 X 坐标为 $(X1+X2)/2 = (-412.008-587.992)/2 = -500.00$ 。同样操作可得到工件坐标系原点的 Y 坐标为 $-(Y1+Y2)/2 + 12 = -403.00$ 。

④ X、Y 方向对刀完成后，单击菜单“塞尺检查/收回塞尺”，收回塞尺；单击操作面板上的手动按钮，使机床转入手动加工状态；单击 Z 和 + 按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床/拆除工具”，拆除基准工具；单击菜单“机床/选择刀具”，在如图 8.61 所示的“选择铣刀”对话框中，根据加工方式选择所需的直径为 10 mm 的平底刀，单击“确定”按钮后退出。



图 8.60



图 8.61

⑤ 装好刀具后，将机床移到大致位置进行塞尺检查，可以得到工件上表面的 Z 坐标值，记为 Z_1 ，其值为 -237.00 。由此可以得到工件坐标系原点的 Z 坐标为 Z_1 -塞尺厚度，记为 Z ，其值为 $-237.00-1.00=-238.00$ 。

此时得到的 (X, Y, Z) 即 $(-500, -403, -238)$ 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。

(7) 平铣刀设置参数。此处采用 $G54$ 方法确定工件与机床坐标系关系：将对刀得到的工件原点在机床坐标系上的坐标数据，输入自动坐标系 $G54$ 中，从而确定机床开始自动加工时的位置。

① 输入 $G54$ 工件坐标原点。

a. 在 MDI 键盘上单击 **OFFSET** 按钮三次，进入坐标系参数设定界面；单击软键 **[(操作)]**，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“01”；单击软键 **[NO检索]**，光标停留在 $G54$ 坐标参数设定区域；先设定 X 坐标值，利用 MDI 键盘输入“ -500.00 ”，单击软键 **[输入]**，则 $G54$ 中 X 的坐标值变为 -500.00 。

b. 用方位按钮 **↓**，将光标移至 Y 的位置，同样输入“ -403.00 ”，单击软键 **[输入]**；再将光标移至 Z 的位置，同样输入“ -238.00 ”，单击软键 **[输入]**；即完成了 $G54$ 参数的设定。此时 CRT 界面如图 8.62 所示。

② 输入刀尖半径补偿参数。在起始界面下，单击 MDI 界面上的 **OFFSET** 按钮，进入“工具补偿”参数设定界面，利用方位按钮 **↑ ↓ ← →** 将光标移到对应刀具的 **形状(D)** 栏；单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“ 5.000 ”，单击软键 **[输入]**，把输入域中的补偿值输入到所指定的位置，如图 8.63 所示。

(8) 运行 O0084 程序自动加工。先将机床回零；单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯 **▶** 亮变，单击“循环启动”按钮 **[I]**，就可以自动加工了。加工结果如图 8.64 所示。

WORK COORDINATES				00084	N	0084
(G54)						
番号 数据		番号 数据				
00	X	0.000	02	X	0.000	
(EXT)	Y	0.000	(G55)	Y	0.000	
	Z	0.000		Z	0.000	
01	X	-500.000	03	X	0.000	
(G54)	Y	-403.000	(G56)	Y	0.000	
	Z	-238.000		Z	0.000	
>						
HNDL **** * * *						
[NO检索][测量][[+输入][输入]						

图 8.62

工具补正				00084	N	0084
番号	形状(H)	摩耗(H)	形状(D)	摩耗(D)		
001	0.000	0.000	5.000	0.000		
002	0.000	0.000	0.000	0.000		
003	0.000	0.000	0.000	0.000		
004	0.000	0.000	0.000	0.000		
005	0.000	0.000	0.000	0.000		
006	0.000	0.000	0.000	0.000		
007	0.000	0.000	0.000	0.000		
008	0.000	0.000	0.000	0.000		
现在位置(相对坐标)						
X	-498.158	Y	-347.864	Z	-237.000	
				S	0	1
HNDL**** ** *						
[NO检索][测量][][+输入][输入]						

图 8.63

(9) 钻头装刀、对刀。选择钻头进行后续的孔加工：单击操作面板上的“手动”按钮，机床转入手动加工状态；单击 **Z** 和 **+** 按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床/拆除工具”，拆除粗加工刀具，单击菜单“机床/选择刀具”，在“选择铣刀”对话框中，选择所需的直径为 8 mm 的钻头，单击“确定”按钮后退出，如图 8.65 所示。



图 8.64



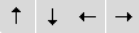
图 8.65

采用手动方式使钻头靠近工件，将钻头移到如图 8.66 所示的位置。单击菜单“视图/选项...”，将“铁屑开”选项选中；单击操作面板上的 按钮使主轴正转，单击“手动脉冲”按钮 或 ，使手动脉冲指示灯 变亮；采用手动脉冲方式精确移动机床，单击 显示手轮，将手轮对应轴旋钮 置于 Z 挡，调节手轮进给速度旋钮 ，在手轮 上单击鼠标左键或右键精确移动零件，在钻头和零件刚开始碰撞的一刹那，记下此时 CRT 中的 Z 的坐标 -208.00（可单击 POS 键后，再单击“综合”键得到）。

(10) 钻头设置参数。

① 输入 G54 工件坐标原点。在 MDI 键盘上单击 按钮三次，进入坐标系参数设定界面；单击软键 **[(操作)]**，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“01”；单击软键 **[NO检索]**，光标停留在 G54 坐标参数设定区域，用方位按钮 将光标移至 Z 的位置；设定 Z 坐标值，利用 MDI 键盘输入“-208.00”，单击软键 **[输入]**，则 G54 中 Z 的坐标值变为 -208.00。此时 CRT 界面如图 8.67 所示。

② 输入刀尖半径补偿参数。在起始界面下，单击 MDI 界面上的 按钮，进入“工具

补正”参数设定界面，利用方位按钮  将光标移到对应刀具的**形状(D)**栏，单击MDI 键盘上的数字/字母键，输入“4.000”，单击软键**[输入]**，把输入域中的补偿值输入到所指定的位置，如图 8.68 所示。

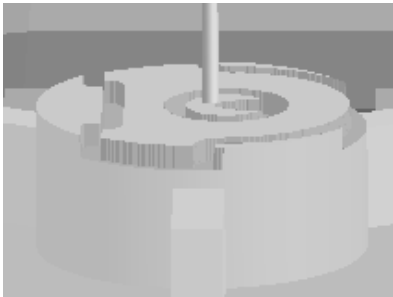



图 8.66

WORK COORDINATES			00085	N	0085
(G54)					
番号 数据		番号 数据			
00	X	0.000	02	X	0.000
(EXT)	Y	0.000	(G55)	Y	0.000
	Z	0.000		Z	0.000
01	X	-500.000	03	X	0.000
(G54)	Y	-403.000	(G56)	Y	0.000
	Z	-208.000		Z	0.000
>					
REF **** * *					
[NO检索][测量][+输入][输入]					

图 8.67

(11) 运行 O0085 程序自动加工。首先调用 O0085 钻削加工程序；将机床回零，单击操作面板上的“自动运行”按钮，单击“循环启动”按钮，就可以自动加工了。加工结果如图 8.69 所示。

工具补正			00085	N	0085
番号	形状(H)	磨损(H)	形状(D)	磨损(D)	
001	0.000	0.000	4.000	0.000	
002	0.000	0.000	0.000	0.000	
003	0.000	0.000	0.000	0.000	
004	0.000	0.000	0.000	0.000	
005	0.000	0.000	0.000	0.000	
006	0.000	0.000	0.000	0.000	
007	0.000	0.000	0.000	0.000	
008	0.000	0.000	0.000	0.000	
现在位置(相对坐标)					
X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
				S	0
					1
REF *****					
[补正] [SETTING] [坐标系] [] [(操作)]					

图 8.68



图 8.69

8.5 三维复杂零件轮廓的编程与仿真加工

8.5.1 相关知识

MasterCAM 是一套 CAD/CAM 集成软件，包含二维绘图、三维曲面设计、实体造型、数控编程、刀具路径模拟等功能。

8.5.2 加工工艺分析

- 工件图如图 8.70 所示。
- 毛坯：长为 110 mm，宽为 50 mm，高为 50 mm 的长方形毛坯。
- 装夹方式：工件用平口虎钳以底平面定位装夹。
- 工件坐标系：毛坯的上表面正中心。
- 加工方式：按照曲面挖槽粗加工、外形铣削、曲面平行铣削精加工的工艺路线。
- 刀具选用：曲面粗铣加工和外形铣削用直径为 12 mm 的高速钢键槽铣刀，曲面精铣加工用半径为 4 mm 的高速钢球铣刀。

切削用量：根据现场条件合理选择切削用量。例如：粗铣加工主轴转速选用 800 r/min；进给速度选用 400 mm/min；背吃刀量选用 0.5 mm。精铣加工主轴转速选用 2000 r/min；进给速度选用 800 mm/min；背吃刀量选用 0.1 mm。

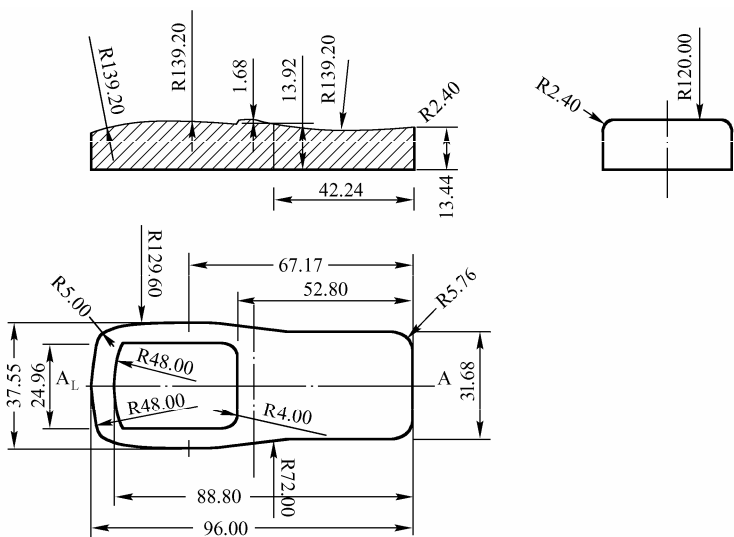


图 8.70 工件图

8.5.3 编程与仿真操作

1. 使用MasterCAM编制程序

(1) 利用 MasterCAM 软件绘制工件二维图形和毛坯边界线，如图 8.71 所示。

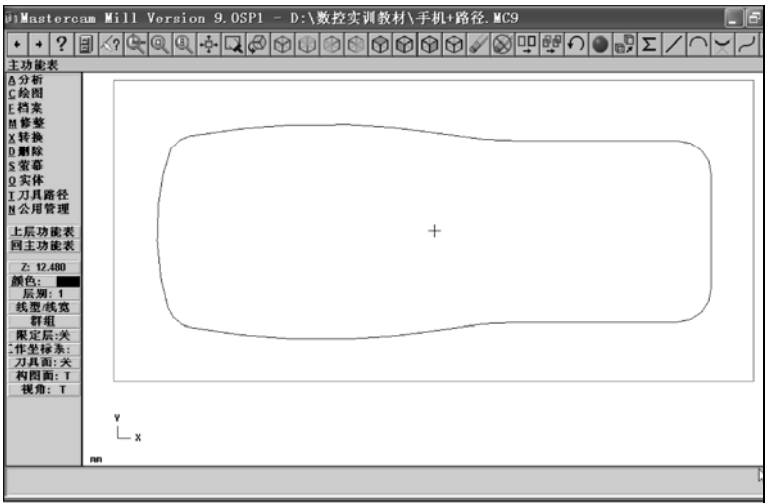


图 8.71 绘制二维图形和毛坯边界线

- (2) 绘制三维轮廓线图形，如图 8.72 所示。
- (3) 采用扫描和修剪等功能绘制三维曲面图形，如图 8.73 所示。

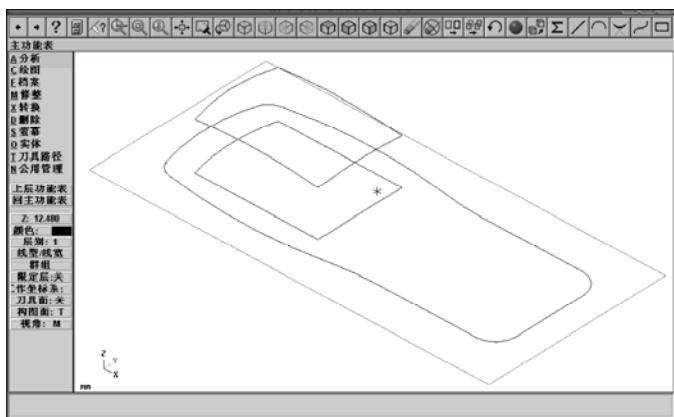


图 8.72 绘制三维轮廓线

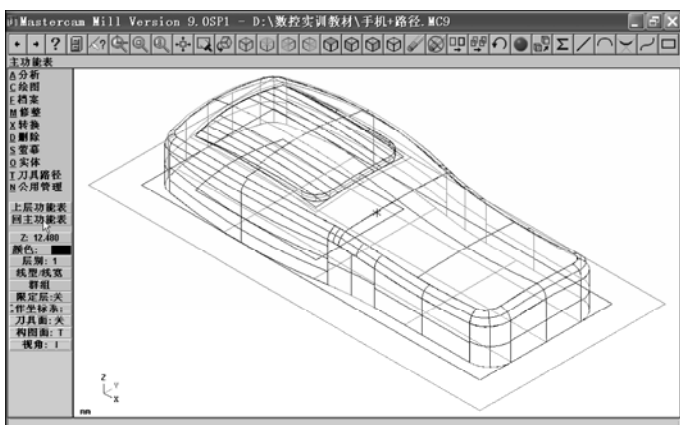


图 8.73 绘制三维曲面

(4) 设置曲面挖槽式粗加工方法的刀具参数，如图 8.74 所示。



图 8.74 设置刀具参数

(5) 设置曲面加工参数，如图 8.75 所示。

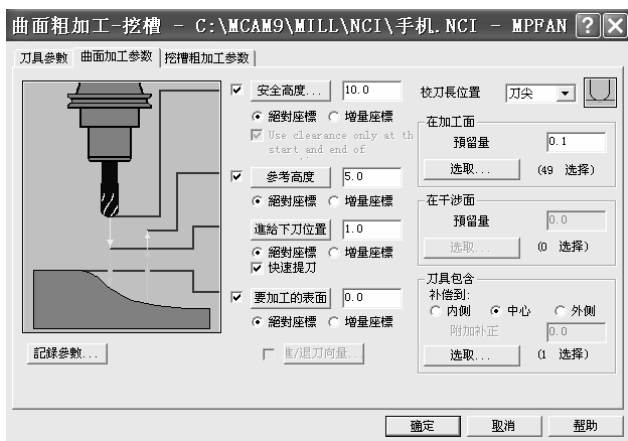


图 8.75 设置曲面加工参数

(6) 设置挖槽粗加工参数，如图 8.76 所示。

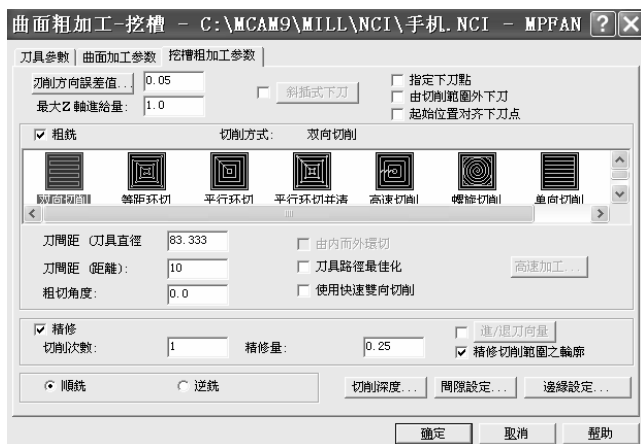


图 8.76

(7) 加工工艺路线依次采用曲面粗加工挖槽、外形铣削、曲面精加工平行铣削三种方式，如图 8.77 所示。

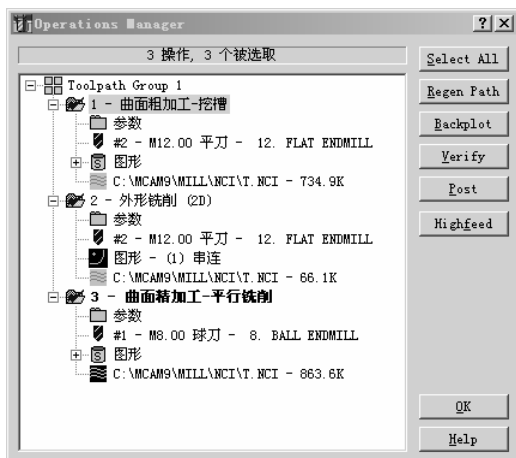


图 8.77

- (8) 挖槽加工实体验证如图 8.78 所示。
- (9) 外形加工实体验证如图 8.79 所示。

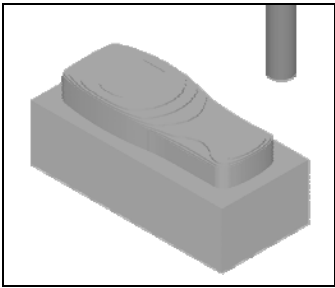


图 8.78

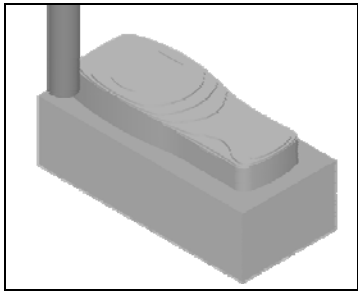


图 8.79

- (10) 平行铣削实体验证如图 8.80 所示。

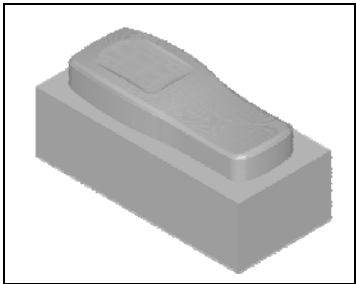


图 8.80

(11) 生成数控程序代码如图 8.81 所示。将生成的粗加工、精加工程序分别保存为 O001.nc 和 O002.nc，并对这两个数个程序做如下修改：%号后加程序名；将 O0000 及括号内的程序删除；在 N100G21 后加 G54；删除 N104T2M6 换刀指令；删除 N106 中 A0；删除 N108 后的 G43H2；再删除程序倒数 3、4 行的回零指令，保存程序。

2. 仿真加工

下面介绍如何在数控加工仿真系统（FANUC 0i）铣床上实际加工图 8.70 中的零件，加工效果如图 8.82 所示。



图 8.81 数控程序代码

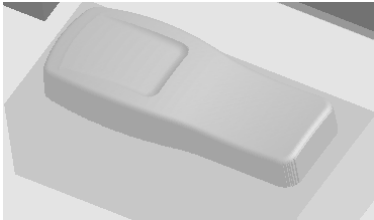


图 8.82

加工准备：粗加工选取直径为 12 mm 的平底刀，精加工选取直径为 8 mm 的球铣刀。

选择长为 110 mm，宽为 50 mm，高为 50 mm 的长方形毛坯。采用 G54 定位坐标系。

加工步骤：选择机床；机床回零；安装零件；导入 NC 程序；检查运行轨迹；装刀具、对刀；设置参数；自动加工。

(1) 选择机床。同 8.2 节所示图例步骤。

(2) 机床回零。同 8.2 节所示图例步骤。

(3) 安装零件。

① 单击菜单“零件/定义毛坯...”，在如图 8.83 所示的“定义毛坯”对话框中，将零件尺寸改为长 110 mm、高和宽均为 50 mm，名字为默认值“毛坯 1”，单击“确定”按钮。

② 单击菜单“零件/安装夹具...”，在如图 8.84 所示的“选择夹具”对话框中，“选择零件”栏中选取“毛坯 1”，“选择夹具”栏中选取“工艺板”，夹具尺寸采用默认值，单击“确定”按钮。

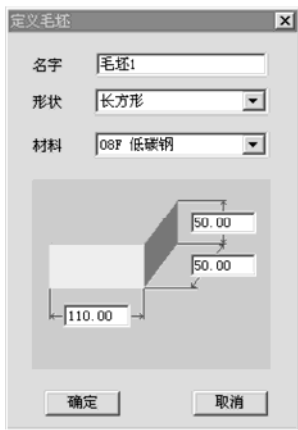


图 8.83 “定义毛坯”对话框

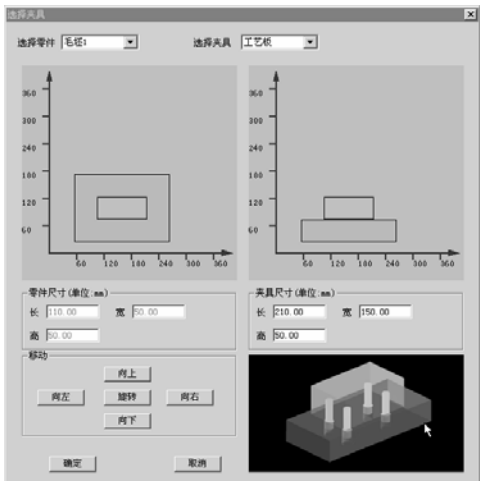


图 8.84

③ 单击菜单“零件/放置零件...”，在如图 8.85 所示的“选择零件”对话框中，选取类型为“选择毛坯”，选取名称为“毛坯 1”的零件，单击“确定”按钮，界面上出现控制零件移动的面板，如图 8.86(a)所示，完成零件移动后，关闭该面板，此时机床如图 8.86(b)所示，零件已放置在机床工作台面上。



图 8.85 “选择零件”对话框

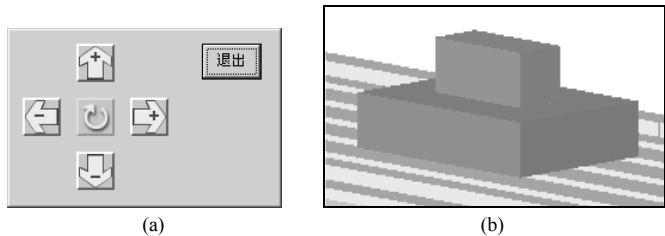


图 8.86

④ 单击菜单“零件/安装压板”，在如图 8.87(a)所示的“选择压板”对话框中，单击左边的图案，选取安装四块压板，压板尺寸采用默认值，单击“确定”按钮，此时机床台面上的零件已安装好压板，如图 8.87(b)所示。

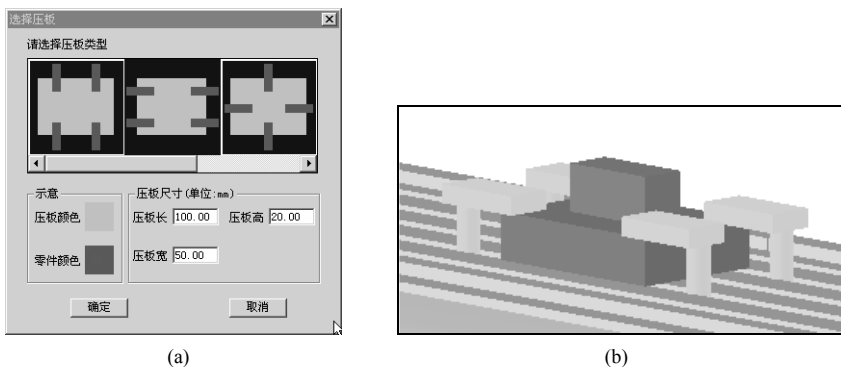



图 8.87

(4) 导入 NC 程序。单击操作面板上的“编辑”按钮, 进入编辑状态；单击 MDI 键盘上的 **PROG** 按钮，CRT 界面转入编辑页面；单击软键 **[操作]**，在出现的下级子菜单中单击软键 **▶**，单击软键 **[F检索]**，在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序，如图 8.88 所示，单击“打开”按钮。在同一菜单级中，单击软键 **[READ]**，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“O0001”，单击软键 **[EXEC]**，则数控程序显示在 CRT 界面上。


(5) 检查运行轨迹。单击操作面板上的“自动运行”按钮，进入自动加工模式；单击 MDI 键盘上的 **PROG** 按钮，选定的数控程序显示在 CRT 界面上；单击 **CUSTOM GRAPH** 按钮，进入检查运行轨迹模式；单击操作面板上的“循环启动”按钮, 即可观察数控程序的运行轨迹，如图 8.89 所示。图中红线（软件中显示）代表刀具快速移动的轨迹，绿线（软件中显示）代表刀具切削的轨迹。



图 8.88

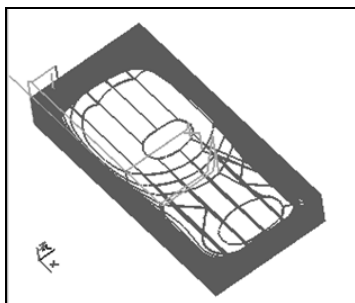


图 8.89 运行轨迹

(6) 装刀具、对刀。运行轨迹正确，表明输入的程序基本正确，此数控程序以零件上表面中心点作为原点。下面将说明如何通过対刀来建立工件坐标系与机床坐标系的关系。

① 单击菜单“机床/基准工具...”，在如图 8.90 所示的“基准工具”对话框中，选取左边的刚性圆柱基准工具，其直径为 14 mm；单击操作面板上的“手动”按钮，使机床进入手动加工状态，利用操作面板上的[X]、[Y]、[Z]按钮和[+]、[-]按钮，将机床移动到如图 8.91 所示的大致位置。

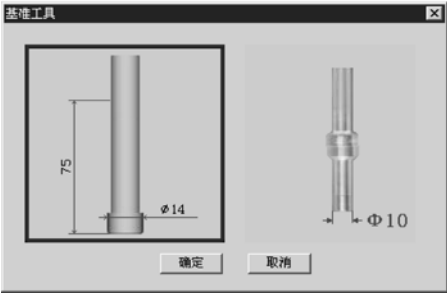


图 8.90 “基准工具”对话框

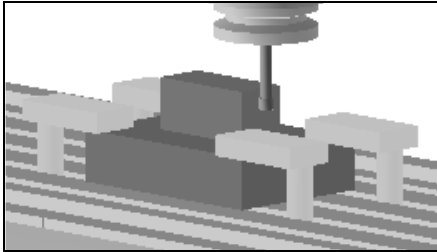









图 8.91

② 单击菜单“塞尺检查/1 mm”，首先在 X 轴方向对刀。将基准工具移动到如图 8.92 所示的位置，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮；此时可采用手动脉冲方式精确移动机床，单击显示手轮，将手轮对应轴旋钮置于 X 挡，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动零件，直至提示信息对话框显示“塞尺检查的结果：合适”，记下此时 CRT 中的 X 坐标，此为基准工具中心的 X 坐标，记为 X1，其值为-437.00。

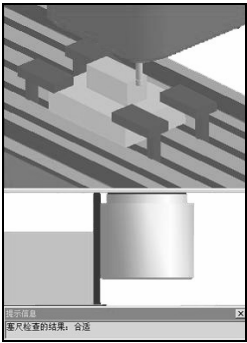


图 8.92

③ 单击操作面板上的“手动”按钮，机床转入手动加工状态，单击[Z]和[+]按钮，将 Z 轴提起，单击[X]和[+]按钮，将基准工具移到工件的另一边，重复上面的步骤，记下此时 CRT 中的 X 坐标，记为 X2，其值为-628.00。由此可以得到工件坐标系原点的 X 坐标为 $(X1+X2)/2 = (-437.00-563.00)/2 = -500.00$ 。同样操作可以得到工件中心的 Y 坐标为-415.00。

④ X, Y 方向完成对刀后，单击菜单“塞尺检查/收回塞尺”，将塞尺收回；单击操作面板上的“手动”按钮，使机床进入手动加工状态；单击[Z]和[+]按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床/拆除工具”，拆除基准工具；单击菜单“机床/选择刀具”，在“选择铣刀”对话框中，根据加工方式选择所需的直径为 12 mm 的平底刀，如图 8.93 所示，单击“确定”按钮后退出。

⑤ 装好刀具后，将机床移到大致位置进行塞尺检查，可以得到工件上表面的 Z 坐标值，记为 Z1，其值为-352.00，由此可以得到工件坐标原点的 Z 坐标为 Z1-塞尺厚度，记为 Z，其值为-352.00-1.00=-353.00。

此时得到的 (X, Y, Z)，即 (-500, -415, -353) 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。



图 8.93

(7) 设置参数。此处采用 G54 方法确定工件与机床坐标系的关系：将对刀得到的工件原点在机床坐标系上的坐标数据 (X, Y, Z)，输入自动坐标系 G54 中，从而确定机床开始自动加工时的位置。刀具补偿参数默认为 0。

① 输入 G54 工件坐标原点。

a. 在 MDI 键盘上单击 **OFFSET** 按钮三次，进入坐标系参数设定界面，单击软键 **[操作]**，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“01”；单击软键 **[NO检索]**，光标停留在 G54 坐标参数设定区域，先设定 X 的坐标值，利用 MDI 键盘输入“-500.00”，单击软键 **[输入]**，则 G54 中 X 的坐标值变为-500.00。

b. 用方位按钮 **↓**，将光标移至 Y 的位置，用同样方法输入“-415.00”，单击软键 **[输入]**；再将光标移至 Z 的位置，用同样方法输入“-353.00”，单击软键 **[输入]**，即完成了 G54 参数的设定。此时 CRT 界面如图 8.94 所示。



② 输入刀尖半径补偿参数。在起始界面下，单击 MDI 界面上的 **OFFSET** 按钮，进入工具补偿参数设定界面，利用方位按钮 **↑ ↓ ← →** 将光标移到对应刀具的 **形状(D)** 栏，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“6.000”，单击软键 **[输入]**，把输入域中的补偿值输入到所指定的位置，如图 8.95 所示。



WORK COORDINATES				00001 N 0001			
(G54)							
番号	数据	番号	数据				
00	X 0.000	02	X 0.000				
(EXT)	Y 0.000	(G55)	Y 0.000				
	Z 0.000	Z	0.000				
01	X -500.000	03	X 0.000				
(G54)	Y -415.000	(G56)	Y 0.000				
	Z -353.000	Z	0.000				
>							
HNDL **** ** *							
[NO检索] [测量] [] [+输入] [输入]							

图 8.94

工具补正			00001	N 0001
番号	形状(H)	磨损(H)	形状(D)	磨损(D)
001	0.000	0.000	6.000	0.000
002	0.000	0.000	0.000	0.000
003	0.000	0.000	0.000	0.000
004	0.000	0.000	0.000	0.000
005	0.000	0.000	0.000	0.000
006	0.000	0.000	0.000	0.000
007	0.000	0.000	0.000	0.000
008	0.000	0.000	0.000	0.000
现在位置(相对坐标)				
X	-481.883	Y	-391.566	Z -352.000
>			S 0	1
HNDL**** ** *				
[NO检索] [测量] [] [+输入] [输入]				

图 8.95

(8) 粗加工自动加工。先将机床回零；再单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮，单击“循环启动”按钮，就可以自动加工了。加工完毕出现如图 8.96 所示的结果。

(9) 换精加工刀具、对刀。单击操作面板上的“手动”按钮，使机床转入手动加工状态；单击和按钮，将 Z 轴提起，再单击菜单“机床/拆除工具”，拆除粗加工刀具；单击菜单“机床/选择刀具”，在“选择铣刀”对话框中，根据加工方式选择所需的直径为 8 mm 的球头刀，如图 8.97 所示，单击“确定”按钮后退出。

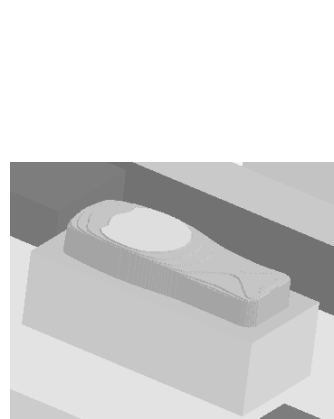











图 8.96



图 8.97

手动方式使刀尖靠近工件，将刀具移到如图 8.98 所示的位置；单击菜单“视图/选项...”中的“铁屑开”选项；单击操作面板上的按钮使主轴正转，单击“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮，此时可采用手动脉冲方式精确移动机床，在刀具和零件刚开始碰撞的一刹那，记下此时 CRT 中的 Z 的机械坐标-343.516。由于对刀面在粗加工程序中距零平面中的铣削深度是 15.5 mm（该参数可在 MasterCAM 粗加工程序参数设置中获得），所以， $Z=-343.516+15.5=-328.016$ 。

(10) 精加工刀具参数设置

① 输入 G54 工件坐标原点。在 MDI 键盘上单击按钮三次，进入坐标系参数设定界面；单击软键，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“01”；单击软键，光标停留在 G54 坐标参数设定区域，用方位按钮将光标移至 Z 的位置，利用 MDI 键盘输入“-328.016”，单击软键，则 G54 中 Z 的坐标值变为-328.016；此时 CRT 界面如图 8.99 所示。

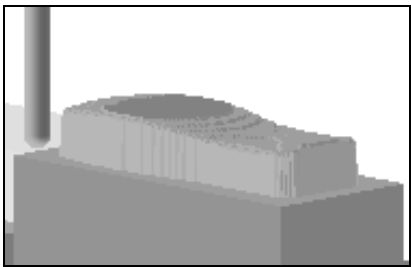


图 8.98

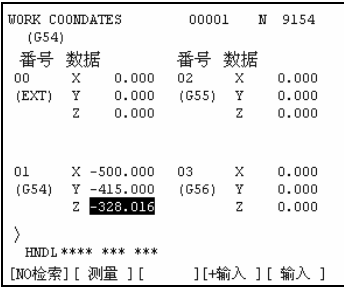






图 8.99

② 输入刀尖半径补偿参数。在起始界面下，单击 MDI 界面上的  按钮，进入“工具补偿”参数设定界面，利用方位按钮  将光标移到对应刀具的 **形状(D)** 栏，单击 MDI 键盘上的数字/字母键，输入“4.000”，单击软键 **[输入]**，把输入域中的补偿值输入到所指定的位置，如图 8.100 所示。

(11) 精加工自动加工。调用 O0002 精加工程序：先将机床回零；单击操作面板上的自动运行按钮，使其指示灯  变亮，单击“循环启动”按钮 ，就可以自动加工了。加工结果如图 8.101 所示。

工具补偿				00001	N 9154
番号	形状(H)	摩耗(H)	形状(D)	摩耗(D)	
001	0.000	0.000	4.000	0.000	
002	0.000	0.000	0.000	0.000	
003	0.000	0.000	0.000	0.000	
004	0.000	0.000	0.000	0.000	
005	0.000	0.000	0.000	0.000	
006	0.000	0.000	0.000	0.000	
007	0.000	0.000	0.000	0.000	
008	0.000	0.000	0.000	0.000	
现在位置(相对坐标)					
X	-553.218	Y	-427.339	Z	-343.516
S 0 1					
HMDL**** ** *					
[NO检索][测量][+输入][输入]					

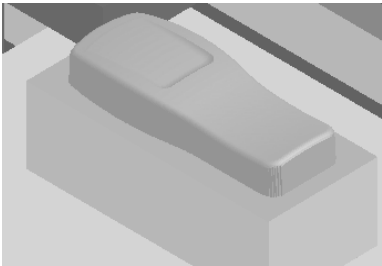


图 8.100

图 8.101

习 题 8

8.1 运用现有铣削仿真软件，仿真模拟如图 8.102 所示零件。图中 J、D 两字槽宽 6 mm，槽深 3 mm；其余槽宽 10 mm，槽深 6 mm。要求：

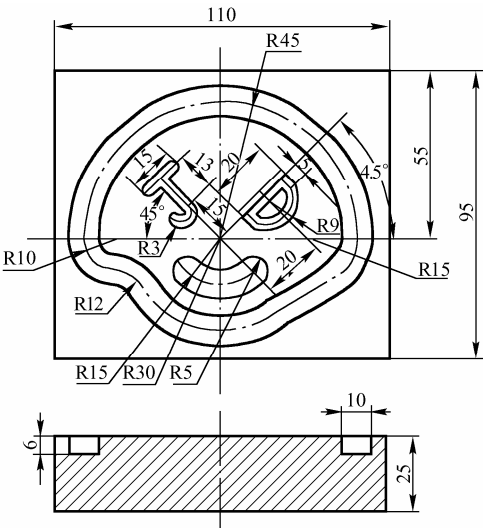


图 8.102

- (1) 图纸工艺分析;
- (2) 确定装夹方案;
- (3) 确定加工顺序及加工进给路线;
- (4) 选择切削刀具;
- (5) 选择切削用量;
- (6) 编写加工程序;
- (7) 使用仿真软件对工件模拟加工;
- (8) 在数控机床上按加工要求对刀操作;
- (9) 数控机床上加工零件。

8.2 如图 8.103 所示, 用直径为 25 mm 的钻头在厚度为 40 mm 的方板上钻削 15 个通孔, 试用重复固定循环方式编写程序并仿真加工。要求同题 8.1。

8.3 运用现有铣削仿真软件, 仿真加工如图 8.104 所示零件。要求同题 8.1。

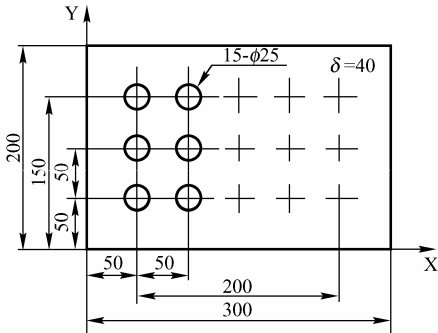


图 8.103

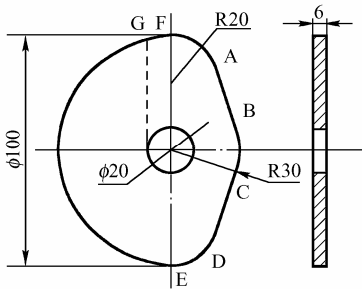


图 8.104

8.4 运用现有铣削仿真软件, 仿真加工如图 8.105 所示五角星零件。五角星内接圆直径为 200 mm。要求同题 8.1。

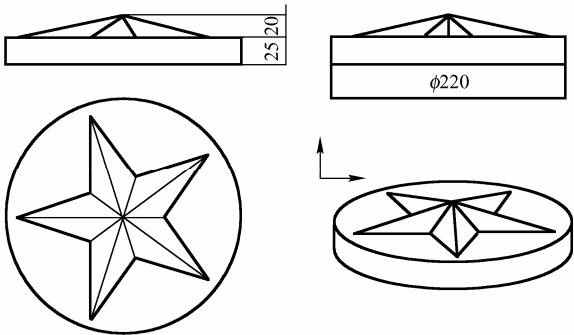


图 8.105 五角星

8.5 运用现有铣削仿真软件, 仿真加工如图 8.106 所示的鼠标零件。要求同题 8.1。

8.6 运用现有铣削仿真软件, 仿真加工如图 8.107(a)所示的可乐瓶零件, 加工后效果如图 8.107(b)所示。要求同题 8.1。

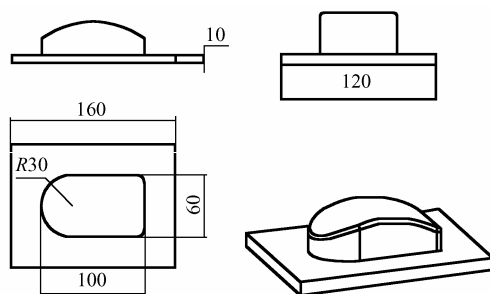
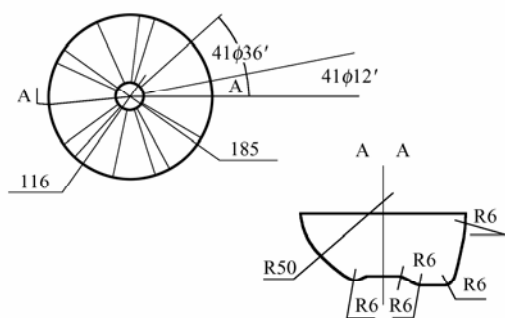
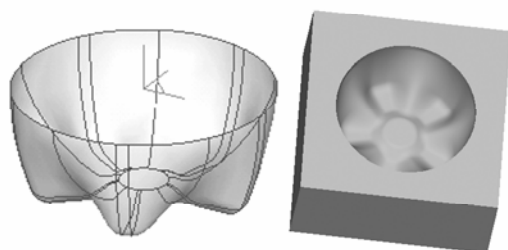


图 8.106 鼠标



(a) 可乐瓶底曲面造型的二维图



(b) 可乐瓶底曲面造型和凹模型腔造型效果图

图 8.107

附录A FANUC 0i数控指令格式

1. 本软件提供的G指令（见表A.1）

表 A.1

	0i-T	0i-M		0i-T	0i-M		0i-T	0i-M
G00	√	√	G44		√	G75	√	
G01	√	√	G49		√	G76	√	√
G02	√	√	G50	√	√	G80		√
G03	√	√	G51		√	G81		√
G04	√	√	G52		√	G82		√
G15		√	G53	√	√	G83		√
G16		√	G54	√	√	G84		√
G17		√	G55	√	√	G85		√
G18		√	G56	√	√	G86		√
G19		√	G57	√	√	G88		√
G20	√	√	G58	√	√	G89		√
G21	√	√	G59	√	√	G90	√	√
G28	√	√	G68		√	G91		√
G29	√	√	G69		√	G92	√	√
G32	√		G70	√		G94	√	
G40	√	√	G71	√		G98	√	√
G41	√	√	G72	√		G99	√	√
G42	√	√	G73	√	√			
G43		√	G74	√	√			

2. G指令格式

（1）数控铣床和加工中心 G 指令见表 A.2。

表 A.2

代 码	分 组	意 义	格 式
G00	01	快速进给、定位	G00 X_Y_Z_
G01		直线插补	G01 X_Y_Z_
G02		圆弧插补 CW（顺时针）	XY 平面内的圆弧： G17 $\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Y_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_J_ \end{matrix} \right\}$ ZX 平面内的圆弧： G18 $\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Z_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_K_ \end{matrix} \right\}$ YZ 平面内的圆弧： G19 $\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} Y_Z_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ J_K_ \end{matrix} \right\}$
G03		圆弧插补 CCW（逆时针）	

续表

代 码	分 组	意 义	格 式
G04	00	暂停	G04 [P[X] 单位秒，增量状态单位毫秒，无参数状态表示停止
G15	17	取消极坐标指令	G15 取消极坐标方式
G16		极坐标指令	Gxx Gyy G16 开始极坐标指令 G00 IP_ 极坐标指令 Gxx: 极坐标指令的平面选择（G17, G18, G19） Gyy: G90 指定工件坐标系的零点为极坐标的原点 G91 指定当前位置作为极坐标的原点 IP: 指定极坐标系选择平面的轴地址及其值 第 1 轴: 极坐标半径 第 2 轴: 极角
G17	02	XY 平面	G17 选择 XY 平面; G18 选择 XZ 平面; G19 选择 YZ 平面
G18		ZX 平面	
G19		YZ 平面	
G20	06	英制输入	
G21		米制输入	
G28	00	回归参考点	G28 X_Y_Z_
G29		由参考点回归	G29 X_Y_Z_
G40	07	刀具半径补偿取消	G40
G41		左半径补偿	$\left\{ \begin{matrix} G41 \\ G42 \end{matrix} \right\}$ Dnn
G42		右半径补偿	
G43	08	刀具长度补偿+	$\left\{ \begin{matrix} G43 \\ G44 \end{matrix} \right\}$ Hnn
G44		刀具长度补偿-	
G49		刀具长度补偿取消	G49
G50	11	取消缩放	G50 缩放取消
G51		比例缩放	G51 X_Y_Z_P_: 缩放开始 X_Y_Z_: 比例缩放中心坐标的绝对值指令 P_: 缩放比例 G51 X_Y_Z_I_J_K_: 缩放开始 X_Y_Z_: 比例缩放中心坐标值的绝对值指令 I_J_K_: X, Y, Z 各轴对应的缩放比例
G52	00	设定局部坐标系	G52 IP_: 设定局部坐标系 G52 IP0: 取消局部坐标系 IP: 局部坐标系原点
G53		机械坐标系选择	G53 X_Y_Z_
G54	14	选择工作坐标系 1	GXX
G55		选择工作坐标系 2	
G56		选择工作坐标系 3	
G57		选择工作坐标系 4	
G58		选择工作坐标系 5	
G59		选择工作坐标系 6	
G68	16	坐标系旋转	（G17/G18/G19）G68 a_b_R_: 坐标系开始旋转 G17/G18/G19: 平面选择，在其上包含旋转的形状 a_b_: 与指令坐标平面相应的 X, Y, Z 中的两个轴的绝对指令，在 G68 后面指定旋转中心 R_: 角度位移，正值表示逆时针旋转。根据指令的 G 代码（G90 或 G91）确定绝对值或增量值 最小输入增量单位: 0.001deg 有效数据范围: -360.000~360.000
G69		取消坐标轴旋转	G69: 坐标轴旋转取消指令

代 码	分 组	意 义	格 式
G73	09	深孔钻削固定循环	G73 X_Y_Z_R_Q_F_
G74		左螺纹攻螺纹固定循环	G74 X_Y_Z_R_P_F_
G76		精镗固定循环	G76 X_Y_Z_R_Q_F_
G90	03	绝对方式指定	GXX
G91		相对方式指定	
G92	00	工作坐标系的变更	G92 X_Y_Z_
G98	10	返回固定循环初始点	GXX
G99		返回固定循环 R 点	
G80	09	固定循环取消	
G81		钻削固定循环、钻中心孔	G81 X_Y_Z_R_F_
G82		钻削固定循环、镗孔	G82 X_Y_Z_R_P_F_
G83		深孔钻削固定循环	G83 X_Y_Z_R_Q_F_
G84		攻螺纹固定循环	G84 X_Y_Z_R_F_
G85		镗削固定循环	G85 X_Y_Z_R_F_
G86		退刀形镗削固定循环	G86 X_Y_Z_R_P_F_
G88		镗削固定循环	G88 X_Y_Z_R_P_F_
G89		镗削固定循环	G89 X_Y_Z_R_P_F_

(2) 数控车床 G 指令见表 A.3（本系统中车床采用直径编程）。

表 A.3

代 码	分 组	意 义	格 式
G00	01	快速进给、定位	G00 X_Z_
G01		直线插补	G01 X_Z_
G02		圆弧插补 CW（顺时针）	$\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Z_ \quad \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_K_ \end{matrix} \right\}$
G03		圆弧插补 CCW（逆时针）	
G04	00	暂停	G04 [X|U|P] X, U 单位：秒；P 单位：毫秒（整数）
G20	06	英制输入	
G21		米制输入	
G28	0	回归参考点	G28 X_Z_
G29		由参考点回归	G29 X_Z_
G32	01	螺纹切削（由参数指定绝对和增量）	Gxx X|U... Z|W... F|E... F 指定单位为 0.01mm/r 的螺距。 E 指定单位为 0.0001mm/r 的螺距
G40	07	刀具补偿取消	G40
G41		左半径补偿	$\left\{ \begin{matrix} G41 \\ G42 \end{matrix} \right\} \quad Dnn$
G42		右半径补偿	
G50	00		设定工件坐标系：G50 X Z 偏移工件坐标系：G50 U W
G53		机械坐标系选择	G53 X_Z_
G54	12	选择工作坐标系 1	GXX
G55		选择工作坐标系 2	
G56		选择工作坐标系 3	
G57		选择工作坐标系 4	
G58		选择工作坐标系 5	
G59		选择工作坐标系 6	

代 码	分 组	意 义	格 式
G70	00	精加工循环	G70 Pns Qnf
G71		外圆粗车循环	G71 UΔd Re G71 Pns Qnf UΔu WΔw Ff
G72		端面粗切削循环	G72 W(Δd) R(e) G72 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t) Δd: 切深量 e: 退刀量 ns: 精加工形状的程序段组的第一个程序段的顺序号 nf: 精加工形状的程序段组的最后程序段的顺序号 Δu: X 方向精加工余量的距离及方向 Δw: Z 方向精加工余量的距离及方向
G73		封闭切削循环	G73 Ui WΔk Rd G73 Pns Qnf UΔu WΔw Ff
G74		端面切断循环	G74 R(e) G74 X(U)_Z(W)_P(Δi)Q(Δk)R(Δd)F(f) e: 返回量 Δi: X 方向的移动量 Δk: Z 方向的切深量 Δd: 孔底的退刀量 f: 进给速度
G75		内径/外径切断循环	G75 R(e) G75 X(U)_Z(W)_P(Δi)Q(Δk)R(Δd)F(f)
G76	01	复合形螺纹切削循环	G76 P(m) (r) (a) Q(Δdmin) R(d) G76 X(u)_Z(W)_R(i) P(k)Q(Δd)F(l) m: 最终精加工重复次数为 1~99 r: 螺纹的精加工量（倒角量） a: 刀尖的角度（螺牙的角度）可选择 80, 60, 55, 30, 29, 0 六个种类 m, r, a: 同用地址 P 一次指定 Δdmin: 最小切深度 i: 螺纹部分的半径差 k: 螺牙的高度 Δd: 第一次的切深量 l: 螺纹导程
G90		直线车削循环加工	G90 X (U) _Z (W) _F_ G90 X (U) _Z (W) _R F_
G92		螺纹车削循环	G92 X (U) _Z (W) _F_ G92 X (U) _Z (W) _R F_
G94		端面车削循环	G94 X (U) _Z (W) _F_ G94 X (U) _Z (W) _R F_
G98	05	每分钟进给速度	
G99		每转进给速度	

3. 支持的M代码（见表A.4）

表 A.4

代 码	意 义	格 式
M00	停止程序运行	
M01	选择性停止	
M02	结束程序运行	
M03	主轴正向转动开始	
M04	主轴反向转动开始	
M05	主轴停止转动	
M06	换刀指令	M06 T_

续表

代 码	意 义	格 式
M08	冷却液开启	
M09	冷却液关闭	
M30	结束程序运行且返回程序开头	
M98	子程序调用	M98 Pxnnnn 调用程序号为 Onnnn 的程序 xx 次。
M99	子程序结束	子程序格式： Onnnn M99

附录B SIEMENS 810D数控指令格式

1. G指令使用格式（*表示机床默认状态）

（1）SIEMENS 系统数控铣床和加工中心 G 指令见表 B.1。

表 B.1

分 类	分 组	代 码	意 义	格 式	备 注
插补	1	G0	快速插补(笛卡儿坐标)	G0 X_Y_Z_	
		G1*	直线插补(笛卡儿坐标)	G1 X_Y_Z_	
		G2	顺时针圆弧(笛卡儿坐标, 终点+圆心)	G2 X_Y_Z_I_J_K_	XYZ 确定终点, IJK 确定圆心
			顺时针圆弧(笛卡儿坐标, 终点+半径)	G2 X_Y_Z_CR=_	XYZ 确定终点, CR 为半径(大于 0 为优弧, 小于 0 为劣弧)
			顺时针圆弧(笛卡儿坐标, 圆心+圆心角)	G2 AR=_I_J_K_	AR 确定圆心角(0° ~360°), IJK 确定圆心
			顺时针圆弧(笛卡儿坐标, 终点+圆心角)	G2 AR=_X_Y_Z_	AR 确定圆心角(0° ~360°), XYZ 确定终点
		G3	逆时针圆弧(笛卡儿坐标, 终点+圆心)	G3 X_Y_Z_I_J_K_	
			逆时针圆弧(笛卡儿坐标, 终点+半径)	G3 X_Y_Z_CR=_	
			逆时针圆弧(笛卡儿坐标, 圆心+圆心角)	G3 AR=_I_J_K_	
			逆时针圆弧(笛卡儿坐标, 终点+圆心角)	G3 AR=_X_Y_Z_	
		CIP	圆弧插补(笛卡儿坐标, 三点圆弧)	CIP X_Y_Z_I1=_J1=_K1 =_	1. XYZ 确定终点, I1, J1, K1 确定中间点
					2. 是否为增量编程对终点和中间点均有效
平面	6	G17*	指定 XY 平面	G17	
		G18	指定 ZX 平面	G18	
		G19	指定 YZ 平面	G19	
增量设置	14	G90*	绝对量编程	G90	
		G91	增量编程	G91	
单位	13	G70	英制单位输入	G70	
		G71*	公制单位输入	G71	
	9	G53	取消工件坐标设定	G53	
工件坐标	8	G54	工件坐标 1	G54	
		G55	工件坐标 2	G55	
		G56	工件坐标 3	G56	
		G57	工件坐标 4	G57	
复位	2	G74	回参考点(原点)	G74 X1=_Y1=_	回原点的速度为机床固定值, 指定回参考点的轴不能有 Transformation? 若有 , 需用 TRAFOOF 取消

续表

分 类	分 组	代 码	意 义	格 式	备 注
刀具 补偿	7	G40*	取消刀补	G40	在指令 G40,G41 和 G42 的一行中必须同时有 G0 或 G1 指令(直线),且要指定一个当前平面内的一个轴。如在 XY 平面下,N20 G1 G41 Y50
		G41	左侧刀补	G41	
		G42	右侧刀补	G42	
	17	NORM*	设置刀补开始和结束为正常方法		
		KONT	设置刀补开始和结束为其它方法		接近或离开刀补路径的点为 G451 或 G450 计算的交点
	18	G450*	刀补时拐角走圆角	G450 DISC=_	DISC 的值为 0 到 100, 为 0 时表示最大的圆弧,100 时同 G451 相同
		G451	刀补时到交点时再拐角		

(2) SIEMENS 系统数控车床 G 指令见表 B.2。

表 B.2

分 类	分 组	代 码	意 义	格 式	参 数 意 义
插补	1	G0	快速插补(笛卡儿坐标)	G0 X_Z_ G0AP=_RP=_	XYZ: 直角坐标中的终点 AP=: 极坐标中的终点,此时为极角 RP=: 极坐标中的终点,此时为极半径
		G1*	直线插补(笛卡儿坐标)	G1 X_Z_F_ G1AP=_RP=_F_	F: 进给率, mm/min 其余参数意义同 G0
		G2	在圆弧轨迹上以顺时针方向运行	G2 X_Z_I_J_K_ G2 AP=_RP= G2 X_Y_Z_CR=_ G2 AR=_I_J_K_ G2 AR=_X_Y_Z_ CIP X_Y_Z_I1=_J1=_K1=_	XYZ: 直角坐标中终点 IJK: 直角坐标中圆心 (X, Y, Z) AP=: 极坐标中终点,此时为极角 RP=: 极坐标中终点,此时为与原半径相应的极坐标 CR=: 圆半径 AR=: 圆弧角 I1=J1=K1=: 直角坐标中的中点 (X, Y, Z)
		G3	在圆弧轨迹上以逆时针方向运行	G3 X_Z_I_J_K_ G3 AP=_RP= G3 X_Y_Z_CR=_ G3 AR=_I_J_K_ G3 AR=_X_Y_Z_ CIP X_Y_Z_I1=_J1=_K1=_	参数意义同 G2
		CIP	圆弧插补(笛卡儿坐标,三点圆弧)	CIP X_Z_I1=_K1=_	1.XZ 确定终点,I1,K1 确定中间点 2. 是否为增量编程对终点和中间点均有效
增量 设置	14	G90*	参照当前坐标系原点,在工件坐标系中编制刀具运行点的程序	G90 或 X=AC(_) Y=AC(_) Z=AC(_)	XYZ: 横动轴的轴标识 =AC: 绝对尺寸
		G91	参照最新接近点	G91 或 X=IC(_) Y=IC(_) Z=AC(_)	=IC: 增量尺寸 其余参数意义同 G90
单位	13	G70	英制单位输入	G70	
		G71*	公制单位输入	G71	
选择 工作面	6	G17	工作面 X/Y 进刀方向 Z	G17	
		G18*	工作面 Z/X 进刀方向 Y	G18	
	9	G53	取消工件坐标设定	G53	

续表

分 类	分 组	代 码	意 义	格 式	参 数 意 义
工件坐标	8	G54	工件坐标 1	G54	
		G55	工件坐标 2	G55	
		G56	工件坐标 3	G56	
		G57	工件坐标 4	G57	
复位	2	G74	回参考点(原点)	G74 X1=0 Y1=0 Z1=0 A1=0	G74: 参考点趋近 X1=0 Y1=0: 规定的机床轴地址 X1, Y1, ...接近参考点 利用 G74 返回参考点的轴的移动不能被编程 利用 TRAFOOF 命令解除移动
刀具补偿	7	G40*	解除刀具半径补偿	G40	在指令 G40,G41 和 G42 的一行中必须同时有 G0 或 G1 指令(直线), 且要指定一个当前平面内的一个轴。如在 XY 平面下,N20 G1 G41 Y50
		G41	激活刀具半径补偿, 刀具沿加工方向运行至轮廓的右边	G41	
		G42	激活刀具半径补偿, 刀具沿加工方向运行至轮廓的左边	G42	
	17	NORM*	设置刀补开始和结束为正常方法		直接到达, 保存项目时应保存, 包括 G450,G451
		KONT	设置刀补开始和结束为其他方法		接近或离开刀补路径的点为 G451 或 G450 计算的交点
	18	G450*	刀补时拐角走圆角	G450 DISC=_	G450: 过度圆: 刀具沿着刀具半径的圆弧轨迹绕工件拐角移动 DISC=: 从 DISC=0 圆到 DISC=100 交点, 一步一步趋近和回退的柔性编程指令
		G451	刀补时到交点时再拐角	G451	G451: 相交, 刀具从工件拐角返回

注: 加"*"号的功能程序启动时生效。

2. 支持的M代码（见表B.3）

表 B.3

代 码	意 义	格 式	功 能
M0	编程停止		
M1	选择性暂停		
M2	主程序结束返回程序开头		
M3	主轴正转		
M4	主轴反转		
M5	主轴停转		
M6	换刀（默认设置）		选择第 x 号刀, x 范围: 0~32000 , T0 取消刀具
		M6	T 生效且对应补偿 D 生效
M17	子程序结束		若单独执行子程序则此功能同 M2 和 M30 相同
M30	主程序结束且返回		

附录C 华中数控指令格式

1. 本软件提供的G指令

(1) 华中数控车床 G 指令见表 C.1。

表 C.1

	HMDI-21T		HMDI-21T		HMDI-21T		HMDI-21T
G00	√	G01	√	G02	√	G03	√
G04	√	G20	√	G21	√	G28	√
G29	√	G32		G36		G37	
G40	√	G41	√	G42	√	G54	√
G55	√	G56	√	G57	√	G58	√
G59	√	G65		G71	√	G72	√
G73	√	G76		G80	√	G81	√
G82	√	G90	√	G91	√	G92	√
G94	√	G95	√	G96		G97	

(2) 华中数控铣床 G 指令见表 C.2。

表 C.2

	HMDI-21M		HMDI-21M		HMDI-21M		HMDI-21M
G00	√	G01	√	G02	√	G03	√
G04	√	G07		G09		G17	√
G18	√	G19	√	G20	√	G21	√
G22		G24	√	G25	√	G28	√
G29	√	G40	√	G41	√	G42	√
G43	√	G44	√	G49	√	G50	√
G51	√	G52	√	G53		G54	√
G55	√	G56	√	G57	√	G58	√
G59	√	G60		G61		G64	
G65	√	G68	√	G69	√	G73	√
G74	√	G76		G80	√	G81	√
G82	√	G83	√	G84	√	G85	√
G86	√	G87		G88	√	G89	√
G90	√	G91	√	G92	√	G94	
G95		G98	√	G99	√		

2. G指令格式（*表示机床默认状态）

（1）华中数控系统铣床和加工中心 G 指令格式见表 C.3。

表 C.3

代 码	分 组	意 义	格 式
G00	01	快速定位	G00 X_ Y_ Z_ A_ X, Y, Z, A: 在 G90 时为终点在工件坐标系中的坐标; 在 G91 时为终点相对于起点的位移量
G01*		直线插补	G01 X_ Y_ Z_ A_ F_ X, Y, Z, A: 线性进给终点 F: 合成进给速度
G02		顺圆插补	XY 平面内的圆弧:
G03		逆圆插补	G17 $\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Y_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_J_ \end{matrix} \right\}$ ZX 平面的圆弧: G18 $\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Z_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_K_ \end{matrix} \right\}$ YZ 平面的圆弧: G19 $\left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} Y_Z_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ J_K_ \end{matrix} \right\}$ X, Y, Z: 圆弧终点 I, J, K: 圆心相对于圆弧起点的偏移量 R: 圆弧半径, 当圆弧圆心角小于 180° 时 R 为正值, 否则 R 为负值 F: 被编程的两个轴的合成进给速度
G02/G03		螺旋线进给	G17 G02(G03)X_ Y_ R(I_ J_) Z_ F_ G18 G02(G03)X_ Z_ R(I_ K_) Y_ F_ G19 G02(G03)Y_ Z_ R(J_ K_) X_ F_ X, Y, Z: 由 G17/G18/G19 平面选定的两个坐标为螺旋线投影圆弧的终点, 第三个坐标是与选定平面相垂直的轴终点 其余参数的意义同圆弧进给
G04	00	暂停	G04 [P]X_ 单位秒, 增量状态单位毫秒
G07	16	虚轴制定	G07 X_ Y_ Z_ A_ X, Y, Z, A: 被指定轴后跟数字 0, 则该轴为虚轴; 后跟数字 1, 则该轴为实轴
G09	00	准停校验	一个包括 G90 的程序段在继续执行下个程序段前, 准确停止在本程序段的终点。用于加工尖锐的棱角
G17*	02	XY 平面	G17 选择 XY 平面; G18 选择 XZ 平面; G19 选择 YZ 平面
G18		ZX 平面	
G19		YZ 平面	
G20	06	英寸输入	
G21*		毫米输入	
G22		脉冲当量	
G24	03	镜像开	G24 X_ Y_ Z_ A_ X, Y, Z, A: 镜像位置
G25		镜像关	指令格式和参数含义同上
G28	00	回归参考点	G28 X_ Y_ Z_ A_ X, Y, Z, A: 回参考点时经过的中间点
G29		由参考点回归	G29 X_ Y_ Z_ A_ X, Y, Z, A: 返回的定位终点
G40	09	刀具半径补偿取消	G17(G18/G19)G40(G41/G42)G00(G01)X_ Y_ Z_ D_ X, Y, Z: G01/G02 的参数, 即刀补建立或取消的终点; D: G41/G42 的参数, 即刀补号码 (D00~D99) 代表刀补表中对应的半径补偿值
G41		左半径补偿	
G42		右半径补偿	

代 码	分 组	意 义	格 式
G43	10	刀具长度正向补偿	G17(G18/G19)G43(G44/G49)G00(G01)X_Y_Z_H_ X, Y, Z: G01/G02 的参数, 即刀补建立或取消的终点; H: G43/G44 的参数, 即刀补号码 (H00~H99) 代表刀补表中对应的长度补偿值
G44		刀具长度负向补偿	
G49		刀具长度补偿取消	
G50	04	缩放关	G51 X_Y_Z_P_ M98 P_ G50 X, Y, Z: 缩放中心的坐标值; P: 缩放倍数
G51		缩放开	
G52	00	局部坐标系设定	G52 X_Y_Z_A_ X, Y, Z, A: 局部坐标系原点在当前工件坐标系中的坐标值
G53		直接坐标系编程	
G54*	12	选择工作坐标系 1	GXX
G55		选择工作坐标系 2	
G56		选择工作坐标系 3	
G57		选择工作坐标系 4	
G58		选择工作坐标系 5	
G59		选择工作坐标系 6	
G60	00	单方向定位	G60 X_Y_Z_A_ X, Y, Z, A: 单向定位终点
G61	12	精确停止校验方式	在 G61 后的各程序段编程轴都要准确停止在程序段的终点, 然后再继续执行下一程序段
G64		连续方式	在 G64 后的各程序段编程轴刚开始减速时 (未达到所编程的终点) 就开始执行下一程序段。但在 G00/G60/G09 程序中, 以及不含运动指令的程序段中, 进给速度仍减速到 0 才执行定位校验
G65	00	子程序调用	指令格式及参数意义与 G98 相同
G68	05	旋转变换	G17 G68 X_Y_P_ G18 G68 X_Z_P_ G19 G68 Y_Z_P_ M98 P_ G69 X, Y, Z: 旋转中心的坐标值; P: 旋转角度
G69		旋转取消	
G73	06	高速深孔加工循环	G98(G99)G73X_Y_Z_R_Q_P_K_F_L_ G98(G99)G74 X_Y_Z_R_P_F_L_ G98(G99)G76X_Y_Z_R_P_I_J_F_L_ G80 G98(G99)G81X_Y_Z_R_F_L_ G98(G99)G82X_Y_Z_R_P_F_L_ G98(G99)G83X_Y_Z_R_Q_P_K_F_L_ G98(G99)G84X_Y_Z_R_P_F_L_ G85 指令同上, 但在孔底时主轴不反转 G86 指令同 G81, 但在孔底时主轴停止, 然后快速退回 G98(G99)G87X_Y_Z_R_P_I_J_F_L_ G98(G99)G88X_Y_Z_R_P_F_L_ G89 指令与 G86 相同, 但在孔底有暂停 X, Y: 加工起点到孔位的距离; R: 初始点到 R 的距离; Z: R 点到孔底的距离; Q: 每次进给深度 (G73/G83); I, J: 刀具在轴反向位移增量 (G76/G87); P: 刀具在孔底的暂停时间; F: 切削进给速度; L: 固定循环次数
G74		反攻丝循环	
G76	06	精镗循环	
G80		固定循环取消	
G81		钻孔循环	
G82		带停顿的单孔循环	
G83		深孔加工循环	
G84		攻丝循环	
G85		镗孔循环	
G86		镗孔循环	
G87		反镗循环	
G88		镗孔循环	
G89		镗孔循环	
*G90	13	绝对值编程	
G91		增量值编程	GXX

代 码	分 组	意 义	格 式
G92	00	工作坐标系设定	G92 X ₋ Y ₋ Z ₋ A ₋ X, Y, Z, A: 设定的工件坐标系原点到刀具起点的有向距离
G94	14	每分钟进给	
G95		每转进给	
*G98	15	固定循环返回起始点	G98: 返回初始平面
G99		固定循环返回到 R 点	G99: 返回 R 点平面

(2) 华中数控系统车床 G 指令格式见表 C.4 (本系统中车床采用直径编程)。

表 C.4

G 代码	组	功 能	格 式
G00	01	快速定位	G00X(U) ₋ Z(W) ₋ X, Z: 为直径编程时, 快速定位终点在工件坐标系中的坐标; U, W: 为增量编程时, 快速定位终点相对于起点的位移量
*G01		直线插补	G01 X(U) ₋ Z(W) ₋ F ₋ X, Z: 绝对编程时, 终点在工件坐标系中的坐标; U, W: 增量编程时, 终点相对于起点的位移量; F: 合成进给速度
		倒角加工	G01 X(U) ₋ Z(W) ₋ C ₋ G01 X(U) ₋ Z(W) ₋ R ₋ X, Z: 绝对编程时, 为未倒角前两相邻程序段轨迹的交点 G 的坐标值; U, W: 增量编程时, 为 G 点相对于起始直线轨迹的始点 A 点的移动距离; C: 倒角终点 C, 相对于相邻两直线的交点 G 的距离; R: 倒角圆弧的半径值
G02		顺圆插补	G02X(U) ₋ Z(W) ₋ $\left\{\begin{matrix} I & K \\ R \end{matrix}\right\}_-$ F ₋ X, Z: 绝对编程时, 圆弧终点在工件坐标系中的坐标; U, W: 增量编程时, 圆弧终点相对于圆弧起点的位移量; I, K: 圆心相对于圆弧起点的增加量, 在绝对、增量编程时都以增量方式指定; 在直径、半径编程时 I 都是半径值; R: 圆弧半径; F: 倍编程的两个轴的合成进给速度
G03		逆圆插补	同上
G02(G03)		倒角加工	G02(G03) X(U) ₋ Z(W) ₋ R ₋ RL ₋ G02(G03) X(U) ₋ Z(W) ₋ R ₋ RC ₋ X, Z: 绝对编程时, 为未倒角前圆弧终点 G 的坐标值; U, W: 增量编程时, 为 G 点相对于圆弧始点 A 点的移动距离; R: 圆弧半径值; RL=: 倒角终点 C, 相对于未倒角前圆弧终点 G 的距离; RC=: 倒角圆弧的半径值
G04	00	暂停	G04P ₋ P: 暂停时间, 单位为 s
G20 *G21	08	英寸输入 毫米输入	G20X ₋ Z ₋ 同上
G28 G29	00	返回刀参考点 由参考点返回	G28 X ₋ Z ₋ G29 X ₋ Z ₋
G32	01	螺纹切削	G32X(U) ₋ Z(W) ₋ R ₋ E ₋ P ₋ F ₋ X, Z: 绝对编程时, 有效螺纹终点在工件坐标系中的坐标; U, W: 增量编程时, 有效螺纹终点相对于螺纹切削起点的位移量; F: 螺纹导程, 即主轴每转一圈, 刀具相对于工件的进给量; R, E: 螺纹切削的退尾量, R 表示 Z 向退尾量, E 表示 X 向退尾量; P: 主轴基准脉冲距离螺纹切削起点的主轴转角

G 代码	组	功 能	格 式
*G36 G37	17	直径编程 半径编程	
*G40 G41 G42	09	刀尖半径补偿取消 左刀补 右刀补	G40 G00(G01)X_ Z_ G41 G00(G01)X_ Z_ G42 G00(G01)X_ Z_ X, Z 为建立刀补或取消刀补的终点, G41/G42 的参数由 T 代码指定
*G54 G55 G56 G57 G58 G59	11	坐标系选择	
G71	06	内（外）径粗车复合循环 （无凹槽加工时） 内（外）径粗车复合循环 （有凹槽加工时）	G71U(Δd)R(r)P(ns)Q(nf)X(Δx)Z(Δz)F(f)S(s)T(t) G71U(Δd)R(r)P(ns)Q(nf)E(e)F(f)S(s)T(t) d: 切削深度（每次切削量），指定时不加符号； r: 每次退刀量； ns: 精加工路径第一程序段的顺序号； nf: 精加工路径最后程序段的顺序号； x: X 方向精加工余量； z: Z 方向精加工余量； f, s, t: 粗加工时 G71 种编程的 F, S, T 有效，而精加工时处于 ns 到 nf 程序段之间的 F, S, T 有效； e: 精加工余量，其为 X 方向的等高距离；外径切削时为正，内径切削时为负
G72		端面粗车复合循环	G72W(Δd)R(r)P(ns)Q(nf)X(Δx)Z(Δz)F(f)S(s)T(t) 参数含义同上
G73		闭环车削复合循环	G73U(ΔI)W(ΔK)R(r)P(ns)Q(nf)X(Δx)Z(Δz)F(f)S(s)T(t) I: X 方向的粗加工总余量； K: Z 方向的粗加工总余量； r: 粗切削次数； ns: 精加工路径第一程序段的顺序号； nf: 精加工路径最后程序段的顺序号； x: X 方向精加工余量； z: Z 方向精加工余量； f, s, t: 粗加工时 G71 种编程的 F, S, T 有效，而精加工时处于 ns 到 nf 程序段之间的 F, S, T 有效
G76	06	螺纹切削复合循环	G76C(c)R(r)E(e)A(a)X(x)Z(z)I(i)K(k)U(d) V(Δdmin)Q(Δd)P(p)F(L) c: 精整次数（1~99）为模态值； r: 螺纹 Z 向退尾长度（00~99）为模态值； e: 螺纹 X 向退尾长度（00~99）为模态值； a: 刀尖角度（二位数字）为模态值，在 80, 60, 55, 30, 29, 0 六个角度中选一个； x, z: 绝对编程时为有效螺纹终点的坐标；增量编程时为有效螺纹终点相对于循环起点的有向距离； i: 螺纹两端的半径差； k: 螺纹高度； dmin: 最小切削深度； d: 精加工余量（半径值）； d: 第一次切削深度（半径值）； P: 主轴基准脉冲处距离切削切削起始点的主轴转角； L: 螺纹导程
G80		圆柱面内（外）径切削循环 圆锥面内（外）径切削循环	G80X_ Z_ F_ G80X_ Z_ I_ F_ I: 切削起点 B 与切削终点 C 的半径差
G81		端面车削固定循环	G81X_ Z_ F_

续表

G 代码	组	功 能	格 式
G82		直螺纹切削循环 锥螺纹切削循环	G82X_Z_R_E_C_P_F_ G82X_Z_I_R_E_C_P_F_ R, E: 螺纹切削的退尾量, R, E 均为向量, R 为 Z 向回退量, E 为 X 向回退量, R, E 可以省略, 表示不用回退功能; C: 螺纹头数, 为 0 或 1 时切削单头螺纹; P: 单头螺纹切削时, 为主轴基准脉冲处距离切削起始点的主轴转角 (默认值为 0); 多头螺纹切削时, 为相邻螺纹头的切削起始点之间对应的主轴转角; F: 螺纹导程; I: 螺纹起点 B 与螺纹终点 C 的半径差
√ G90 G91	13	绝对编程 相对编程	
G92	00	工件坐标系设定	G92X_Z_
√ G94 G95	14	每分钟进给速率 每转进给	G94[F_] G95[F_] F: 进给速度
G96 G97	16	恒线速度切削	G96S_ G97S_ S: G96 后面的 S 值为切削的恒定线速度, 单位为 m/min; G97 后面的 S 值取消恒线速度后, 指定的主轴转速, 单位为 r/min; 如默认, 则为执行 G96 指令前的主轴转速度

3. 支持的M代码（见表C.5）（√表示本软件已经支持）

表 C.5

代 码	意 义	格 式
√ M00	程序停止	
√ M02	程序结束	
√ M03	主轴正转启动	
√ M04	主轴反转启动	
√ M05	主轴 停止转动	
√ M06	换刀指令（铣）	M06 T_
M07	切削液开启（铣）	
M08	切削液开启（车）	
M09	切削液关闭	
√ M30	结束程序运行且返回程序开头	
√ M98	子程序调用	M98 Pxxnnnn 调用程序号为 Onnnn 的程序 xx 次
√ M99	子程序结束	子程序格式： Onnnn M99

参 考 文 献

- [1] 孟富森, 蒋忠理. 数控技术与 CAM 应用. 重庆: 重庆大学出版社. 2002.
- [2] 陈吉红, 杨克冲. 数控机床实验指南. 武汉: 华中科技大学出版社. 2003.
- [3] 眭润舟. 数控编程与加工技术. 北京: 机械工业出版社. 2001.
- [4] 何满才. 数控编程与加工——MasterCAM 9.0. 北京: 人民邮电出版社. 2004.
- [5] 夏丽英, 史新民. 数控加工技术. 北京: 电子工业出版社. 2002.
- [6] 西门子(中国)有限公司. SIEMENS 810D 系统操作说明书. 2003.
- [7] 武汉华中数控股份有限公司. 世纪星车削数控装置操作说明书. 2007.
- [8] 武汉华中数控股份有限公司. 华中数控 PLC 编程说明书. 2007.
- [9] 武汉华中数控股份有限公司. 华中世纪星数控装置连接说明书. 2007.
- [10] 武汉华中数控股份有限公司. 世纪星车削数控装置编程说明书. 2007.
- [11] 上海宇龙股份有限公司. 数控加工仿真系统 FANUC 系统使用手册. 2008.
- [12] 上海宇龙股份有限公司. 数控加工仿真系统 SIEMENS 系统使用手册. 2008.
- [13] 上海宇龙股份有限公司. 数控加工仿真系统华中系统使用手册. 2008.
- [14] 王睿主编. MasterCAM 9 实用教程. 北京: 人民邮电出版社. 2003.
- [15] 彼得·斯密德(美国). 数控编程手册. 北京: 化学工业出版社. 2005.
- [16] 何满才. 模具设计与加工——MasterCAMX 实例详解. 北京: 人民邮电出版社. 2006.
- [17] 袁锋. 全国数控大赛试题精选. 北京: 机械工业出版社. 2005.

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036